

NN 0201

no 454

M. Knibbe

# Gleygronden in het dekzandgebied van Salland

BIBLIOTHEEK  
DER  
LANDEBOUWHOGESCHOOL  
WAGENINGEN.

NN08201.454

M. Knibbe

# Gleygronden in het dekzandgebied van Salland

## PROEFSCHRIFT

ter verkrijging van de graad van  
doctor in de landbouwwetenschappen,  
op gezag van de Rector Magnificus, Dr Ir F. Hellinga,  
hoogleraar in de cultuurtechniek,  
te verdedigen tegen de bedenkingen van een commissie uit  
de Senaat van de Landbouwhogeschool te Wageningen  
op vrijdag 14 november 1969 te 16 uur



1969    *Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouwdocumentatie*  
*Wageningen*

## STELLINGEN

1.

De grote betekenis van organische stof in lutumarme gronden wordt in het Systeem van bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker & Schelling, 1966) bij Beekeerdgronden onvoldoende tot uitdrukking gebracht, omdat deze eenheid niet is gesplitst in gronden met een dunne A1 en die met een matig dikke A1.

2.

De combinatie van eisen voor value en humusgehalte in de criteria voor de minerale eerdlaag (tabel 6 van De Bakker en Schelling, 1966) leidt er voor vele zandgronden toe, dat vrijwel alle matig humusarme A1's en de meeste matig humeuze A1's ten onrechte tot de zwakke A1's worden gerekend, zoals blijkt uit de vergelijking van deze criteria met figuur 39 van dit proefschrift.

3.

Behalve ijzeroer, sideriet, vivianiet en moeraskalk is vrij zeker ook een deel van de lutumfractie in de gleygronden een gevolg van neogenese.

(Dit proefschrift)

4.

Het bodemkundig onderscheid tussen humuspodzolen en gleygronden is primair een gevolg van verschillen in waterbeweging.

(Dit proefschrift)

5.

Het is gewenst bij de gebruikelijke bodemkarteringen meer gegevens over de ondergrond dieper dan 120 cm te verstrekken.

6.

Het ontbreken van een 'universele textuurindeling' vormt een ernstige belemmering voor de uniforme kartering van de bodem van Nederland (blz. 58 uit: De Bakker & Schelling, 1966).

7.

Potholes in Vertisols ontstaan door plaatselijk instorten van de na regen met water verzadigde wanden van diepe droogtescheuren.

8.

Een nader onderzoek van de redoxpotentiaal in de bodem is van groot belang, zowel voor de studie van pedogenetische als van andere bodemkundige vraagstukken.

(Dit proefschrift)

9.

Pseudogleyverschijnselen worden ten onrechte in verband gebracht met een bijzondere vorm van grondwaterhuishouding.

(Dit proefschrift)

10.

Een diepe ontwatering van de gleygronden in Salland is landbouwkundig gewenst en bodemkundig en agrohydrologisch verantwoord.

(Dit proefschrift)

11.

De beekdalen in Salland lenen zich in geologisch, hydrologisch, bodemkundig en landschappelijk opzicht uitstekend voor de vestiging van grote openluchtrecreatie-centra.

12.

Bij de selectie van terreinen voor openluchtrecreatie moet rekening worden gehouden met de kwaliteit van de humus, vooral met het oog op gezinnen met kleine kinderen.

(A. M. VAN DEN AKKER & M. KNIBBE: Het verband tussen bodemgesteldheid en uiterlijke kwaliteit van aardappelen in het oosten van Nederland. Boor en Spade XIV (1965): 110-116).

13.

De Westeuropese integratie zal sterk bevorderd worden door de stichting van een federale hoofdstad, bijvoorbeeld op het drielandenpunt van Luxemburg, Frankrijk en West-Duitsland.

14.

De indrukwekkende prestaties van de 'ruimtevaart' wettigen niet het gebruik van de termen ruimtevaarders, astronauten en kosmonauten.



## Voorwoord

In 1962 gaf de Directeur van de Stichting voor Bodemkartering, Dr Ir F.W.G. Pijls, mij de opdracht voor het samenstellen van een bodemkundige studie van de gleygronden in Salland met behulp van bestaande en nog te verzamelen gegevens. Het resultaat van het onderzoek is in deze publikatie vastgelegd. Graag wil ik U, Dr Pijls, danken voor het verlenen van de opdracht en voor het toestaan van de omvangrijke hoeveelheid benodigde tijd.

Het stemt mij tot grote dankbaarheid, dat U, Prof. Dr Ir L.J. Pons, bereid bleek het ontwerpverslag na het aanbrengen van verschillende wijzigingen en aanvullingen als proefschrift te willen aanvaarden. Niet onvermeld mag blijven dat enkele gedachten over het ontstaan van de gleygronden reeds in 1956 met Uw voorganger, Prof. Dr Ir C.H. Edelman, die de regionale bodemkunde voor mij tot een levend begrip maakte, werden besproken.

Aan de uitvoering van de opdracht is door vele medewerkers van de Stichting voor Bodemkartering bijgedragen, waarvoor ik graag mijn dank wil betuigen. Zonder het aandeel van anderen uit het oog te verliezen, worden de volgende genoemd.

In de eerste plaats geldt mijn dank Dr Ir J. Schelling, die zowel bij het verzamelen van de gegevens als bij het samenstellen van het verslag vele waardevolle suggesties deed en er ook in toestemde nog niet gepubliceerde resultaten van zijn eigen onderzoek in de verslaggeving te betrekken. Zonder zijn bemoediging zou dit werkstuk niet zijn voltooid.

B.A. Marsman karteerde de twee proefgebieden en verzamelde tezamen met C. Hamming vele andere gegevens, waaronder die over de grondwaterstanden. Het resultaat daarvan en een neerslag van de uitvoerige discussies is op vele plaatsen in dit proefschrift terug te vinden.

Met verschillende medewerkers van de Afdelingen Regionale Bodemkunde en Landbouwscheikunde van de Landbouwhogeschool werden verhelderende discussies gevoerd.

Zeer veel medewerking, vooral in de laatste kritieke fase, werd ondervonden van de afdelingen Redactie en Kartografie van de Stichting voor Bodemkartering, in het bijzonder J.J. Jantzen, J.W. Zwolschen, J.P. Heerema, C.P. van der Spek, H. C. Bos en W. Bos, en van het Centrum voor Landbouwpublikaties en Documentatie, met name Dr Ir E. Meijer Drees, C.G.L. Dirks en, voor de Engelse teksten, Mr J.C. Rigg.

Aan Ir R. P. H. P. van der Schans en Ir J. C. Pape ben ik veel dank verschuldigd. De beperkte bijdragen, die ik aan het overige werk van de Hoofdafdeling Karteringen en

van Rayon Oost verleende, moge worden vergoed door het gereed komen van deze publikatie, die handelt over gronden, waarvoor U vanouds steeds grote belangstelling hebt.

# Inhoud

1 Inleiding	1
2 Bodemprofiel	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Zwarte Beekeerdgronden	5
2.3 Overige gleygronden	7
3 Indeling	9
3.1 Inleiding	9
3.2 Oudere indelingen	9
3.3 Nederlandse bodemclassificatie	10
3.4 Legenda van de bodemkaart 1:50000	12
3.5 Legenda Luttenberg	15
3.6 Legenda Hellendoorn	19
3.7 Legenda Vloedgraven	22
3.8 Amerikaanse bodemclassificatie	22
3.9 Westduitse bodemclassificatie	28
4 Landschap	30
4.1 Inleiding	30
4.2 Oppervlakten	30
4.3 Reliëf	34
4.3.1 Inleiding	34
4.3.2 Macroreliëf	35
4.3.3 Microreliëf	35
4.4 Verspreidingspatronen	40
4.4.1 Inleiding	40
4.4.2 Globale verspreidingspatronen	40
4.4.3 Gedetailleerde verspreidingspatronen	45
4.5 Verspreiding van de diverse gleygronden	48
5 Hydrologie	49
5.1 Inleiding	49
5.2 Afwatering	49
5.3 Grondwatertrappen	52

5.4 Opbolling van het grondwaterniveau	60
5.5 Stroming van het grondwater	64
5.6 Doorlatendheid	67
5.7 Bodemvocht	69
6 Geologie	71
6.1 Inleiding	71
6.2 Overzicht	71
6.3 Oudere afzettingen	74
6.4 Dekzand	75
6.5 Datering van de dekzanden	77
6.6 Organische stof	83
6.7 Lutum	83
6.8 Geomorfologie	84
7 Humeuze bovengrond	88
7.1 Inleiding	88
7.2 Begroeiing	88
7.3 Humusgehalte	89
7.4 Kleur	89
7.5 C/N-quotiënt	91
7.6 Micromorfologie	92
7.7 Samenvatting	95
8 Kalk, pH en basenverzadiging	97
8.1 Inleiding	97
8.2 Ontkalking	97
8.3 Kalkaccumulatie	100
8.4 pH	101
8.5 Basenverzadiging	103
8.6 Verband tussen kalk, pH en basenverzadiging	107
9 Mineralogie	108
9.1 Inleiding	108
9.2 Fluviaal laagterras	108
9.3 Dekzand	108
9.4 Lutum	113
10 Gleyverschijnselen	117
10.1 Inleiding	117
10.2 Eigenschappen	118
10.2.1 Roest	118
10.2.2 Grijze vlekken	119

10.2.3 IJzergehalte	119
10.3 Ontstaan	121
10.3.1 Inleiding	121
10.3.2 Mobilisatie	121
10.3.3 Transport	125
10.3.4 Neerslag en ophoping	127
10.3.5 Verband tussen mobilisatie, transport en neerslag	128
10.4 Bijzondere gleyverschijnselen	129
10.4.1 Inleiding	129
10.4.2 IJzeroer	130
10.4.3 Vivianiet	132
10.4.4 Sideriet	134
10.4.5 Kattegronden	135
10.4.6 Fossiele gleyverschijnselen	136
10.4.7 Pseudogley	137
11 Vergelijkend overzicht van de bodemvorming	139
11.1 Inleiding	139
11.2 Dwarsdoorsneden	139
11.3 Schematische bodemkundige geschiedenis van de gleygronden	142
Samenvatting	144
Summary	146
Literatuur	152



Foto 1. Zwarte Beekcerdgrond in kalkloos dekzand, typische representant van de gleygronden (naar De Bakker & Edelman-Vlam, 1965). / Plate 1. Black Beek earth soil, typical of the coversand gley soils (from de Bakker & Edelman-Vlam, 1965).

## 1 Inleiding

In deze studie wordt een aantal bodemkundige aspecten van de gleygronden in Salland behandeld. Onder Salland wordt verstaan het ruim 50000 ha grote gebied besloten door de IJssel, de Schipbeek, de Sallandse Heuvels en de Vecht. Het gaat hier om de laag gelegen, natte gronden, voorkomend in de beekdalen en andere laagten van het dekzandgebied van Salland, die worden gekenmerkt door een min of meer humeuze, roestig gevlekte bovengrond, liggend op een humusarme, eveneens roestige ondergrond, die op ongeveer 100 cm diepte overgaat in een roestloze horizont.

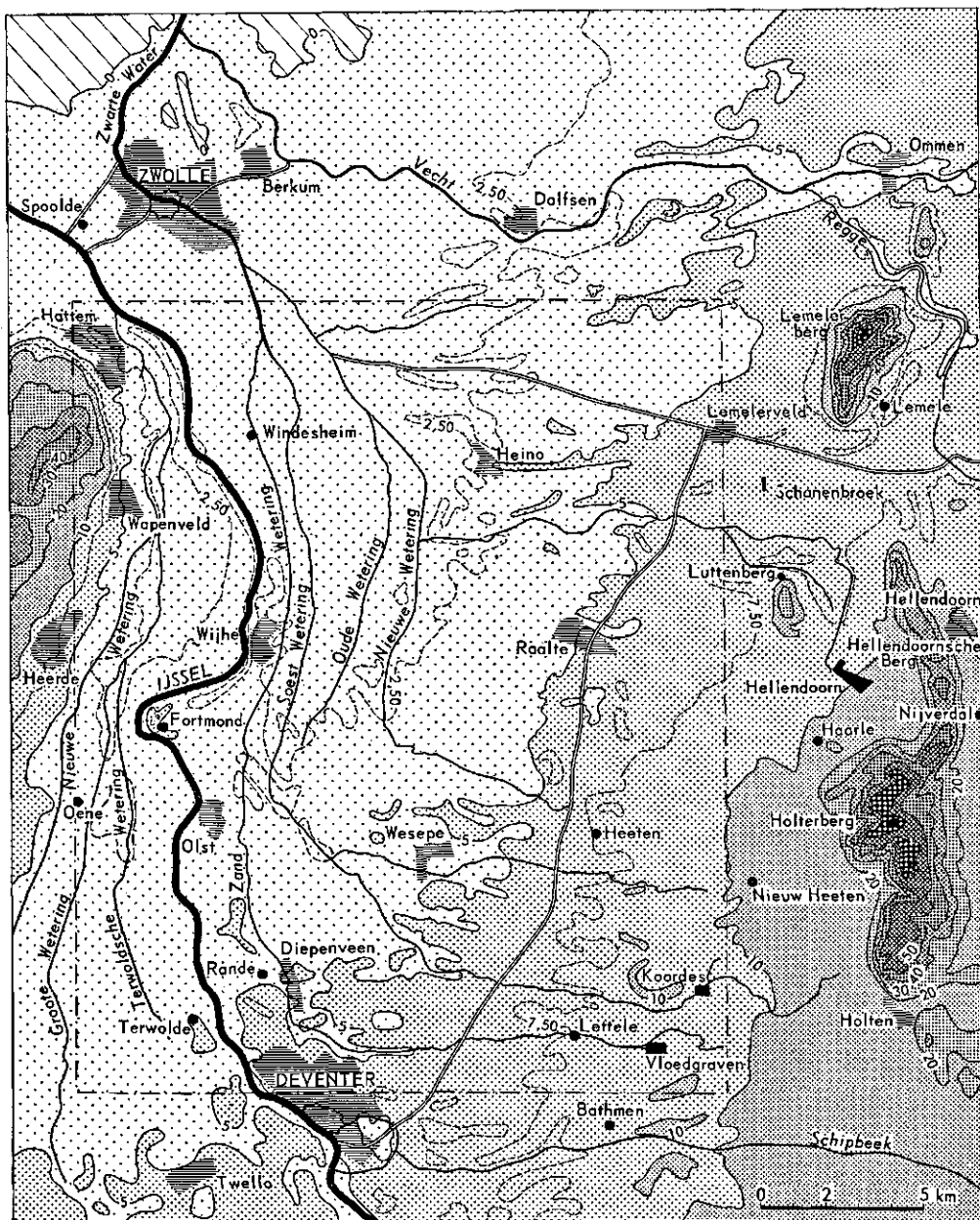
In oudere publikaties worden deze gronden beekbezinkingen of beekafzettingen genoemd. Op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200000, de zogenaamde NEBO-kaart, dragen ze de naam gleygronden, legendanummer 102 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a). De meeste gleygronden worden in het nieuwe Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland tot de subgroep Zwarte Beekeerdgronden gerekend (De Bakker & Schelling, 1966).

Men spreekt van gleygronden omdat ze, in tegenstelling tot de in de dekzandgebieden veel voorkomende humuspodzolgronden, gleyverschijnselen in de oppervlakkige horizonten vertonen. Onder gleyverschijnselen verstaan we de bruine en grijze vlekken, strepen en horizonten in de bodem, die een gevolg zijn van verschillen in het gedrag van ijzerverbindingen, vooral onder invloed van de schommelingen van het grondwaterniveau.

Het woord gley in bovengenoemde betekenis is in het begin van deze eeuw door de Russische onderzoeker G. N. Vissotskii in de bodemkunde geïntroduceerd. Volgens Mückenhausen (1962) is het een 'volkstümliche russische Bezeichnung für eine schlammige Bodenmasse'. Het lijkt waarschijnlijk, gezien de grote klankverwantschap tussen het Engelse clay, het Nederlandse klei, het Duitse Klei, het Poolse glej en het Russische gley, dat deze woorden oorspronkelijk een gelijke betekenis bezaten. Goosen (1969) leidt gley af van het Teutoonse klai of klei. Vilenskii (1957) zegt dat gley aan het Oekraïens is ontleend. Dr. A. Golovanov (mond. meded.) kent het woord gley in de betekenis van klei niet uit het Russisch, doch wel uit het Oekraïens. Een begripsverschuiving van gley = klei naar gley = modder en vervolgens naar gley = de grijze kleuren in de bodem, welke verband houden met een natte ligging, is een aannemelijke verklaring voor de herkomst van het woord. In de bodemkunde werd gley aanvankelijk alleen gebruikt voor de roestloze, egaal grijze tot groen- of blauwgrijze horizont, die permanent met water verzadigd is. De codering van deze horizont met G van gley, is daarvan nog een overblijfsel. Thans worden dikwijls ook de grijze en bruine vlekken, die in verband met het gedrag van het grondwater staan en die in de



Fig. 1. Oriëntatiekaart van Salland, naar gegevens van de topografische kaart. / Introductory map of Salland, derived from the Topographical Map.



horizonten boven de G-horizont voorkomen, tot de gley of althans tot de gleyverschijnselen gerekend.


Aan de studie van de gleygronden is tot nu toe betrekkelijk weinig aandacht besteed; de podzolgronden hebben veel meer de belangstelling van de onderzoekers getrokken. Toch hebben de gleygronden met 8% van de totale oppervlakte in Nederland een grote verbreiding en in de dekzandgebieden bestaat zelfs vaak ongeveer 25% van de oppervlakte uit gleygronden. Voor de keuze van de gleygronden als onderwerp van studie pleit verder de omstandigheid dat zeer grote oppervlakten andere laag gelegen natte gronden met gleyverschijnselen in Nederland voorkomen, zodat de discussie ook voor deze gronden nuttig kan zijn.

Van de gleygronden zullen de morfologie, de classificatie, de landschappelijke ligging en verbreiding, de hydrologie, de geologie en de pedogenese worden besproken. Het laatste onderwerp wordt gesplitst in vier hoofdstukken, achtereenvolgens handelend over de organische stof, enkele chemische gegevens, de mineralogie en de gleyverschijnselen. In een slothoofdstuk wordt samenvattend op de bodemvorming ingegaan.

Het basismateriaal voor deze studie bestaat uit een grote verscheidenheid van gegevens. Veel profijt kon worden getrokken van de gedetailleerde kartering en aanvullend onderzoek in twee proefgebieden, te weten 'Hellendoorn', gelegen aan de zuidoostelijke rand van het Hellendoornsche Broek en 'Vloedgraven', dat enkele kilometers ten noordoosten van Bathmen ligt (fig. 1). De resultaten zijn vastgelegd in twee interne rapporten (Marsman, 1964, 1965). Het onderzoek in de omgeving van Bathmen werd door Dr Ir J. Schelling en B. A. Marsman voortgezet, waarvan t.z.t. verslag zal worden gedaan (Schelling & Marsman, i.v.). Op een aantal andere plekken in Salland, gedeeltelijk in fig. 1 aangegeven, werd eveneens onderzoek uitgevoerd. Voorts is onder meer gebruik gemaakt van karteringen die eerder voor andere doeleinden in Salland werden uitgevoerd.

hoogte t.o.v. NAP/elevation above mean sea level

 beneden NAP / below m.s.l.

 0 -5 m + NAP / m above m.s.l.

 5 -10

 10-20

 20-30

 30-40


 40-50

 50-60


 60-70

 > 70

 rivieren en beken  
rivers and brooks

 kanalen  
canals

 hoogtelijnen  
contours

 Bodemkaart 1:50000, blad Hattum Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c) / Soil Map 1:50000, sheet Hattum Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c)


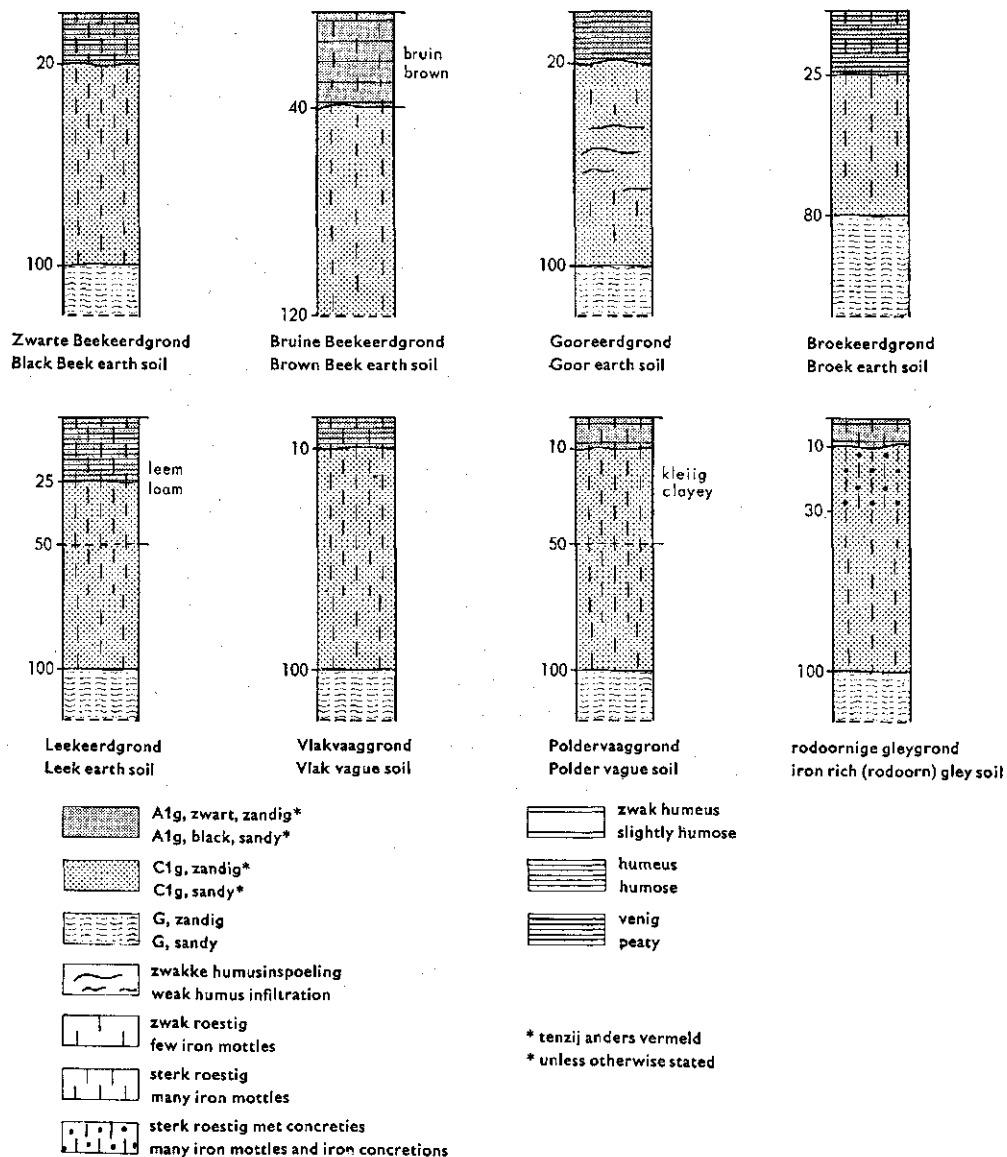
 proefgebieden  
sample areas

Fig. 2. Het profiel van de verschillende gleygronden. / The gley soils discussed in this paper. Except the last one, the names refer to the subgroups of the System of Soil Classification for the Netherlands (de Bakker & Schelling, 1966).



## 2 Bodemprofiel

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de opbouw van het profiel van de gleygronden. In de eerste plaats zullen de Zwarte Beekeerdgronden, die de typische vertegenwoordigers van de gleygronden zijn en die een zeer grote oppervlakte beslaan, worden besproken. Daarna volgen de andere gleygronden, voor zover ze van de Zwarte Beekeerdgronden afwijken. Een schematisch overzicht van de profielopbouw komt voor in figuur 2.

### 2.2 Zwarte Beekeerdgronden

Dit zijn de gronden die onder andere zwarte gleygronden of zwarte elzen(gronden) werden genoemd (De Bakker & Edelman-Vlam, 1965) (fig. 2, foto 1).

Alg. *humeuze bovengrond*, ongeveer 20 cm dik, in de Geldersche Vallei en in Noord-Brabant vaak omstreeks 40 cm; morfologisch opmerkelijk homogeen, verschillen in het gehalte aan organische stof, kleur en hoeveelheid roest maken soms een onderscheid in twee of meer subhorizonten noodzakelijk; kleur: zwart, 10YR 2/1 (Munsell notatie), soms 10YR 3/1; humusgehalte varieert tussen 5 en 10%; in Noord-Brabant meestal iets lager, in het noorden van het land iets hoger gehalte; textuur: zandig, het zand is meestal matig fijn, de mediaan ligt juist boven 150  $\mu\text{m}$ , in veel gevallen zeer fijnzandig, mediaan tussen 105 en 150  $\mu\text{m}$ , dit laatste is behalve in Salland dikwijls in de Gelderse Vallei en in Noord-Brabant het geval; leemklasse: soms zwak lemig, leemgehalte 10–17½%, zelden lager, dikwijls hoger, tot meer dan 30%, het gehalte aan fijne minerale delen neemt met de diepte vaak iets toe, bij de overgang naar de Clg-horizont tot sterk lemig zand of zandige leem; kalkloos; basenverzadiging en pH: in ontgonnen gronden 50–60% en ongeveer 5,0, in niet-ontgonnen gronden ongeveer 50% en 4,0; roestig, hoeveelheid roest in de regel gering, enkele procenten van de geëxposeerde oppervlakte, contrast met matrix matig, roestverdeling tamelijk homogeen, hoeveelheid roest neemt met de diepte vaak iets toe, soms nabij de overgang naar de onderliggende C-horizont zeer sterk roestig en met ijzerconcreties, zoals bij roodoornige gronden; structuur: zwak ontwikkeld, bij spitten of breken van de grond ontstaan scherphoekige elementjes dikwijls in de vorm van tetraëders met een ribbe van 1 tot 10 cm; goed ontwikkeld macroporiënstelsel, 1–10 poriën per  $\text{cm}^2$  breukvlak,

diameter 0,1 tot 0,5 mm<sup>1</sup>; goede beworteling, meeste wortels in de zode; overgang naar C-horizont is meestal scherp en horizontaal;

C1g, *roestige humusarme ondergrond*, diepte: ongeveer 20–100 cm; kleur van de matrix licht grijsbruin, 10YR 6/2 tot 2½Y 6/2; organische-stofgehalte: zeer laag; textuur: zandig, mediaan van de zandfractie, vooral in de diepere delen van de horizont meestal iets hoger dan in de A1g, leemgehalte in het bovenste deel van de C1g vaak wat hoger dan in het diepere deel, op 60–100 cm diepte vaak ongeveer 10%; anders dan in de A1g een fijne horizontale gelaagdheid met afwisselend zeer fijnzandige, sterk lemige laagjes en minder fijnzandige en minder lemige laagjes, ieder vaak slechts enkele mm's dik, bovenin overheersen de lemige laagjes dikwijls vrij sterk, gelaagdheid (gevolg van de wijze van afzetting van het dekzand) op vele plaatsen door wortelgangen onderbroken; kalkloos; basenverzadiging (als gevolg van de geringe hoeveelheid adsorptief complex moeilijk te bepalen) en pH in ontgonnen gronden ongeveer 8,0 en 5,0, in niet – ontgonnen gronden wat lager, ongeveer 6,0 en 4,5; roestig, contrast met matrix als gevolg van de lichte kleur van de laatste, vrij groot, hoeveelheid roest varieert van profiel tot profiel en ook binnen één bepaald profiel vrij sterk, als regel bovenin de C1g het grootst en min of meer geleidelijk tot nul afnemend nabij de grens met de G-horizont, bij roedoornige gleygronden bevat het bovenste deel van de C1g zeer veel roest en/of ijzerconcreties, in andere gevallen ligt hier een roestarme zone met daaronder de grootste roestconcentratie, hoeveelheid roest vaak tot ca. 10% van de geëxposeerde oppervlakte, dikwijls in bepaalde concentraties samenhangend met discontinuïteiten in de textuur, bijv. die van de geogene gelaagdheid van het dekzand of in de vorm van verticale ovalen of strepen ('roestvlammen') en rondom wortelgangen ('roestpijpjes'); structuur: zeer zwak ontwikkeld, structuurelementjes scherphoekig, tamelijk willekeurige vorm, onderin de C1g vrijwel geen samenhang tussen de zandkorrels, de horizont is hier structuurloos; aantal macroporiën 1–5 per cm<sup>2</sup>, tot nul dalend in het onderste deel van de horizont, doorsnede 0,1 tot 0,5 mm, aantal grove poriën onder in de horizont 1 per dm<sup>2</sup>, met een doorsnede van 5–25 mm; beworteling: matig, aantal wortels neemt met de diepte af van ongeveer ½/cm<sup>2</sup> tot nihil; verschillen, bijv. in leemgehalte en roestigheid, leiden vaak tot een onderverdeling in twee of meer subhorizonten, namelijk C11g, C12g enz.; overgang naar G-horizont meestal zeer geleidelijk;

G, *roestloze, humusarme horizont*, dieper dan ongeveer 100 cm; vrijwel geen organische stof; kleur: meestal egaal grijs, 5Y 5/1, variërend van 5Y 4/1 tot 5Y 6/1; roestloos; textuur: overeenkomend met die van het onderste deel van de C1g-horizont, leemgehalte omstreeks 10%, zandmediaan iets boven 150 µm, bovendien wat meer grovere laagjes die doen denken aan verspoelingen, die tijdens de afzetting zijn

1. De breukvlakken ontstaan in de richting van de uitgeoefende kracht. De elementen kunnen gemakkelijk in kleinere eenheden worden gebroken. Blijkbaar zijn de verkregen structuurelementen kunstmatig. Volgens Jongerius (1957) is er aanleiding om deze gronden daarom 'structuurloos' te noemen. Er bestaat evenwel een duidelijke samenhang tussen de zandkorrels als gevolg van de aanwezigheid van organische stoffen, lutum en ijzerverbindingen. Omdat er bovendien een duidelijk ontwikkeld poriënstelsel aanwezig is, lijkt het beter te spreken van een 'zwak ontwikkelde structuur'.

opgetreden; basenverzadiging en pH vrij hoog, nagenoeg 100% en ca. 7 indien kalk wordt gevonden; kalkhoudend, soms ondieper dan 120 cm, bijna altijd ondieper dan 200 cm, gehalte meestal laag, hoogstens enkele procenten, in uitzonderingsgevallen veel hoger (moeraskalk); geen actieve beworteling; macroporiën, soms vrij talrijk, diameter ongeveer 1 cm, met restanten van wortels, waarschijnlijk overblijfselen van een vroegere moerasvegetatie.

Het profielonderzoek wordt in de bodemkartering vaak beperkt tot ongeveer 120 cm diepte. Daar beneden komen evenwel lagen voor, die van betekenis zijn voor de bodemvorming en voor de hydrologie. Bijzonderheden, met name over de textuur van deze lagen worden in Hfdst. 6 gegeven.

### 2.3 Overige gleygronden

De profielopbouw van de overige gleygronden komt in sterke mate overeen met die van de zwarte gleygronden, zodat we hier volstaan met het aangeven van de belangrijkste verschilpunten (fig. 2).

De *Bruine Beekeerdgronden*, vroeger ook wel bruine gleygronden genoemd, zijn vooral bekend uit de Gelderse Vallei (Stichting voor Bodemkartering, 1965b). De humeuze bovengrond is vaak ca. 40 cm dik; de kleur is 'bruin', dat wil zeggen ongeveer 10YR 3/2. Het gehalte aan organische stof is lager dan dat van de Zwarte Beekeerdgronden en bedraagt 3-5%; de gronden liggen iets hoger ten opzichte van het grondwaterniveau en zijn meestal zwak roestig.

De *Gooreerdgronden* werden vroeger wel oligotrofe gleygronden of ijzerloze A/C-gronden genoemd omdat ze, althans in de bovenste horizonten, geen roest bevatten. Ze onderscheiden zich bovendien soms van de overige gleygronden door het voorkomen van een zwakke humusinspoeling. Strikt genomen behoren de Gooreerdgronden daarom niet of slechts ten dele tot de gleygronden. Dit geldt zeker voor die Gooreerdgronden, die brokken A2- en B2-materiaal in de bovengrond bevatten, hetgeen kennelijk het gevolg is van het wegploegen van een humusinspoelingshorizont. De gronden vormen vaak de overgang van de gleygronden naar de humuspodzolen en ook wel van de humeuze naar de venige gleygronden.

De *Broekeerdgronden* werden tot voor kort algemeen aangeduid als venige gleygronden. Beide namen duiden op een tamelijk hoog gehalte aan organische stof (omstreeks 20-50%). In verband met de meestal zeer lage ligging van de gronden begint de G-horizont vaak reeds omstreeks 80 cm diepte.

Sommige gleygronden behoren tot de *Leekeerdgronden* die eerder wel 'gleygronden, ontwikkeld in dekzandleem' werden genoemd. Het leemgehalte in de A1g en in het bovenste deel van de C1g is vrij hoog, omstreeks 50%, terwijl het lutumgehalte relatief laag is, ongeveer 8%. Het zijn dus ten dele zandige lemen. Daar beneden wordt leemarm zand gevonden.

Een deel van de gleygronden behoort tot de *Vlakvaaggronden*. Deze gronden hebben een zwakke A1g die meestal vrij dun is, ca. 10 cm. Soms wijkt de dikte niet af van die van de Zwarte Beekeerdgronden, maar de kleur is veel lichter en het humus-

gehalte is lager. Overigens zijn er weinig verschillen met de Zwarte Beekeerdgronden.

Een klein deel van de gleygronden behoort tot de *Poldervaaggronden*. Deze gronden hebben eveneens een zwakke A1g van omstreeks 10 cm dikte. Het lutumgehalte van de bovengrond is belangrijk hoger dan bij de andere gleygronden en bedraagt 8 tot 15%, soms meer. De dikte van de lutumrijke bovengrond varieert sterk, maar is in Salland dikwijls 40 tot 60 cm. Sommige van deze gronden werden vroeger beekkleigronden genoemd.

De *rodoornige gleygronden* bezitten zeer sterke roestconcentraties, ijzerconcreties of roodbruine verkleuringen. Deze verschijnselen, samenvattend rodoornigheid genoemd, komen vooral in de A1g en in het bovenste deel van de C1g voor. De A1g is meestal betrekkelijk dun, omstreeks 10 cm, soms ongeveer 20 cm, en normaal roestig. Daaronder volgt de roestige, concrethoudende laag, die in dikte meestal varieert van 10 tot 20 cm. Er zijn ook rodoornige gleygronden waarvan de gehele bovengrond roodbruin gekleurd is. Kennelijk is dan de zeer sterk roestige horizont met de A1g vermengd. Rodoornigheid houdt verband met zeer hoge ijzergehalten, ongeveer 10 tot 50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , oplosbaar in 10% HCl. Het verschijnsel komt bij alle eerder genoemde gleygronden voor. Meestal echter hebben zij voor het overige de kenmerken van de Vlakvaaggronden; het zijn dan rodoornige Vlakvaaggronden.



### 3 Indeling

#### 3.1 Inleiding

De oudere indelingen van de gleygronden zijn gebaseerd op landschap en geologie, de moderne indelingen meestal op de pedogenese. De in de laatste tijd sterk toegenomen kennis van de profielopbouw en van de regionale verbreiding van de gronden maakt het mogelijk de indelingscriteria scherper te formuleren en gedetailleerder onderverdelingen te maken.

#### 3.2 Oudere indelingen

De oudste aanduiding van de gleygronden ontleen we aan Staring, die in 1846 schrijft over 'broeken en groengronden'. Ook in 1856 noemt Staring de naam groengronden, waarbij hij opmerkt bij het plaatselijk spraakgebruik aan te sluiten. Kennelijk waren de gleygronden toen als grasland in gebruik, in tegenstelling tot de nog niet ontgonnen heidevelden met humuspodzolgronden. De naamgeving is dus duidelijk landschappelijk. Staring gebruikt echter ook de naam 'beekbezinkingen', in analogie met zijn 'rivierbezinkingen' en 'zeebezinkingen'. Op zijn Geologische Kaart van Nederland (1888/'89) komt ook de naam 'beekklei' voor, waarmee de gronden langs de kleine rivieren in de dekzandgebieden worden aangegeven. Nu is de geogenese, in dit geval de fluviatiele ontstaanswijze, bepalend voor de naamgeving.

Op de uit de dertiger jaren stammende Geologische Kaart van Nederland, schaal 1:50000, staan de gleygronden soms aangegeven als rivierzand (I8z), in de regel als beekafzetting (I9) (bladen Zwolle en Hattem, Rijks Geologische Dienst, 1931, 1932). De Kleine Geologische Overzichtskaart van Nederland, schaal 1:600000 (Geologische Stichting, 1947) onderscheidt de gronden als beekafzettingen, evenals Pannekoek (1956). Ook hier is de naamgeving dus geogenetisch.

Aanvankelijk volgden de onderzoekers van de Stichting voor Bodemkartering dezelfde methode. Edelman noemde op zijn Voorlopige Bodemkaart van Nederland (1950) de gleygronden (legenda-eenheid nr. 38) beekbezinkingsgronden (loamy brook soils), Schelling (1953) gebruikte dezelfde benamingen.

Men streefde echter naar een indeling op pedogenetische grondslag. Naarmate de ideeën over de rol van de bodemvorming bij de Nederlandse gronden zich ontwikkelden, werd de naamgeving hierbij aangepast. Aanvankelijk veronderstelde men een overheersende invloed van de aard van de vegetatie op de vorming van de gronden. Het elzenbroekbos zou een dergelijke invloed op de gleygronden hebben, vandaar dat

Edelman in 1950 in zijn Inleiding tot de Bodemkunde van Nederland de gleygronden 'zwarte elzenbosgronden' noemde. Otto (1959) sprak, naar gegevens van Ir. R. P. H. P. van der Schans, van 'zwarte en bruine elzengronden en beekbezinkingsgronden'.

Onafhankelijk van het uitgangspunt bij de classificatie bleef een min of meer duidelijk onderscheid tussen de gleygronden langs de kleine rivieren en die in het dekzandgebied gehandhaafd. De eerste werden aangeduid met beekafzettingen of een variatie daarop, waarmee de geogenese werd geaccentueerd. De gleygronden in de dekzandgebieden werden elzengronden of broekgronden genoemd.

De relatie tussen de specifieke vegetatie en de aard van de gronden bleek minder nauw dan men eerst meende (Edelman, 1963). Geleidelijk begon men nu de gronden waarover deze studie handelt 'gleygronden' te noemen (Van der Schans, 1957). Deze naam heeft in de eerste plaats betrekking op een vaststaand waarneembaar gegeven van het profiel, namelijk de aanwezigheid van gleyverschijnselen in de oppervlakkige horizonten. Bovendien duidt de aanwezigheid van gley op een duidelijk morfologisch onderscheid tussen gleygronden en humuspodzolen in dezelfde gebieden. Humuspodzolen bezitten geen gleyverschijnselen, maar wel een humusinspoelingshorizont. Het uitgangspunt is dus de pedogenese, i.c. de vorming onder invloed van grondwater, respectievelijk als gevolg van podzolering.

De naam gleygronden wordt op de NEBO-kaart en in de toelichting daarop (Stichting voor Bodemkartering, 1960, resp. 1965a) gebruikt en wel voor de gronden van eenheid 102 en de daarmee overeenkomende gronden in een aantal associaties. Zowel de beekafzettingen als de elzengronden worden nu gleygronden genoemd. In de namen van de betreffende associaties 125, 131, 132 en 133 vinden we de vroegere benamingen nog terug. Sommige andere gronden, bijv. die, ontwikkeld in keileem, worden op de NEBO-kaart ook gleygronden genoemd. Gezien het afwijkende moedermateriaal laten wij deze echter buiten beschouwing.

Het pedogenetische en morfologische criterium van de gleyverschijnselen voldeed uitstekend, wanneer men althans de gronden in een bepaald dekzandgebied bestudeerde. Met behulp van dit criterium konden de gleygronden voldoende worden onderscheiden van de andere gronden in die gebieden, voornamelijk humuspodzolen, die deze kenmerken niet bezitten. Bij het samenstellen van landelijke indelingsschema's ontstonden evenwel moeilijkheden omdat er zeer veel gronden in Nederland zijn, die eveneens gleyverschijnselen in de oppervlakkige horizonten bevatten, maar overigens meer of minder sterk van de gleygronden verschillen.

### 3.3 Nederlandse bodemclassificatie

Aan deze en andere bezwaren is tegemoet gekomen in het Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland (De Bakker & Schelling, 1966). Het gaat hier om een morfometrisch stelsel, dat gebaseerd is op de pedogenese. In twee van de in totaal vijf orden daarvan komen gleygronden voor. Aan de voorwaarden voor de eerste drie orden, de aanwezigheid van veen in voldoende dikte, van een podzol-B en van een briklaag, voldoen de gleygronden niet. Tot orde 4 (Eerdgronden) behoren die gley-

Tabel 1. Indeling van de gleygronden in orde 4, Eerdgronden, van het Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland, naar De Bakker & Schelling (1966)./Classification of the gley soils in Order 4, Earth soils, in the System of Soil Classification for the Netherlands, de Bakker & Schelling (1966).

Suborde/Suborder	Groep/Group	Subgroep/Subgroup
Hydro-eerdgronden	Moerige Eerdgronden	—
Hydroearth soils	Peaty earth soils	—
		Broekeerdgronden
		'Broek' earth soils
	Hydrozandeerdgronden	Bruine Beekeerdgronden
	Sandy hydroearth soils	Brown 'Beek' earth soils
		Gooreerdgronden
		'Goor' earth soils
		Zwarte Beekeerdgronden
		Black 'Beek' earth soils
	Hydrokleieerdgronden	—
	Clayey hydroearth soils	—
		—
		Leekeerdgronden
		'Leek' earth soils

— = Andere onderscheidingen/other classification units.

gronden, die een duidelijke A1, een minerale eerdlaag, bezitten. De gleygronden met een zwakke A1 worden in de laatste orde (orde 5, Vaaggronden) ingedeeld<sup>1</sup>.

De gleygronden van orde 4 behoren, omdat de A1 dunner is dan 50 cm en omdat ze hydromorfe kenmerken hebben, tot de suborde van de Hydro-eerdgronden (tabel 1). Op groepsniveau worden deze gleygronden voor zover ze een venige bovengrond bezitten, tot de Moerige Eerdgronden gerekend. De overige gleygronden worden, voor zover ze lutumarm zijn, tot de Hydrozandeerdgronden en, voor zover ze lutumrijk zijn, tot de Hydrokleieerdgronden gerekend. De gleygronden, behorend tot de Moerige Eerdgronden, worden in verband met de zandige ondergrond op subgroepniveau geassocieerd als Broekeerdgronden. De betreffende Hydrozandeerdgronden worden, naar de kleur van de A1 en de hydromorfe kenmerken, Bruine Beekeerdgronden, Gooreerdgronden of Zwarte Beekeerdgronden genoemd. De gleygronden behorend tot de Hydrokleieerdgronden worden tot de Leekeerdgronden gerekend.

De gleygronden van orde 5 (Vaaggronden) behoren tot de Hydrovaaggronden (tabel 2) omdat ze gerijpt zijn of, wanneer ze lutumarm zijn, als zodanig kunnen worden beschouwd, en omdat ze hydromorfe kenmerken bezitten. De lutumarme gley-

1. Voor de volledige definities en omschrijvingen wordt verwezen naar de publikatie van De Bakker & Schelling. Ter onderscheiding van andere namen schrijven we de nieuwe namen met een hoofdletter.

Tabel 2. Indeling van de gleygronden in orde 5, Vaaggronden, van het Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland, naar De Bakker & Schelling (1966)./Classification of the gley soils in Order 5, Vague soils, in the System of Soil Classification for the Netherlands, de Bakker & Schelling (1966).

Suborde/Suborder	Groep/Group	Subgroep/Subgroup
—	—	—
Hydrovaaggronden	Hydrozandvaaggronden	Vlakvaaggronden
Hydrovague soils	Sandy hydrovague soils	'Vlak' vague soils
	Hydrokleivaaggronden	—
	Clayey hydrovague soils	—
		Poldervaaggronden
		'Polder' vague soils
—	—	—

— = Andere onderscheidingen/other classification units.

gronden van deze suborde behoren tot de Hydrozandvaaggronden en vervolgens tot de Vlakvaaggronden, de lutumrijke tot de Hydrokleivaaggronden. De laatste gleygronden worden, omdat een moerige tussenlaag ontbreekt en omdat ze gerijpt zijn, als Poldervaaggronden geïnclassificeerd.

In hoofdstuk 2 is reeds een overzicht van de profielopbouw van elk van deze gronden gegeven.

### 3.4 Legenda van de bodemkaart 1:50 000

Uit het bovengenoemde Systeem van Bodemclassificatie voor Nederland is een legenda ontwikkeld ten behoeve van de systematische kartering van het land op kaartbladen, schaal 1:50 000 (Steur 1964, 1966). Deze legenda omvat een aantal hoofdklassen, waarvan er vier zijn waarin gleygronden worden ingedeeld (Stichting voor Bodemkartering, 1966a).

Hoofdklasse II, moerige gronden, omvat onder andere de Broekeerdgronden, code vWz, waartoe de meeste venige gleygronden behoren (tabel 3). In hoofdklasse VI, kalkloze zandgronden, worden de Beekeerdgronden, de Gooreerdgronden en de Vlakvaaggronden ondergebracht (tabel 4); er is geen onderscheid gemaakt tussen Bruine en Zwarte Beekeerdgronden. Elk van de genoemde onderscheidingen in hoofdklasse VI wordt naar de textuur nader onderverdeeld. Daarvan is in Salland en vrij zeker ook in het gehele land, de lemige, fijnzandige Beekeerdgrond, code pZg23, qua oppervlakte veruit de belangrijkste.

De overige gleygronden (de zwaardere varianten) behoren tot de hoofdklassen X, rivierkleigronden, en XII, leemgronden (tabel 5 en 6). Het onderscheid hiertussen berust op de geogenese. De gronden die een hoge lutum/leem-verhouding hebben en in de nabijheid van een kleine of grote rivier liggen, hebben waarschijnlijk een fluviale ontstaanswijze en worden daarom tot de rivierkleigronden gerekend. Als regel zijn het Poldervaaggronden, die kalkloos zijn, een lutumgehalte in de bouwvoor tussen

Tabel 3. Indeling van de gleygronden in Hoofdklasse II, moerige gronden, van de legenda van de bodemkaart 1:50 000 van Nederland, naar Stichting voor Bodemkartering (1966a)./Classification of the gley soils in Main Class II, peaty soils, of the legend of the soil map 1:50 000 of the Netherlands (Stichting voor Bodemkartering, 1966a).

	Ondergrond/Subsoil	Bovengrond/Topsoil	Code
–	–	–	–
Moerige Eerdgronden, orde 4	–	–	–
Peaty earth soils, order 4	Gerijpte klei Ripened clay (Broekkeerdgronden) (‘Broek’ earth soils)	Meestal moerig dominantly peaty	Wg
	Zand, zonder duidelijke humuspodzol-B, (Broekkeerdgronden)	Klei Clay	kWz
	Sand, without prominent humus-B (‘Broek’ earth soils)	Zand Sand	zWz
		Moerig Peaty	vWz

– = Andere onderscheidingen/other mapping units.

Tabel 4. Indeling van de gleygronden in Hoofdklasse VI, kalkloze zandgronden, van de legenda van de bodemkaart van Nederland 1:50 000, vereenvoudigd naar Stichting voor Bodemkartering (1966a)./Classification of the gley soils in Main Class VI, non-calcareous sandy soils, of the legend of the Soil Map of the Netherlands 1:50 000, simplified after Stichting voor Bodemkartering (1966a).

	Hydromorfe kenmerken/ Hydromorphic features	Eerdlaag/ Topsoil	M50 <sup>1</sup>	% < 50 µm <sup>2</sup>	Code
Eerdgronden	zonder ijzerhuidjes en roestig /	bruin of zwart, Beekeerdgronden/	<210 µm	A, AB, B	pZg21
Earth soils	without iron coatings, with iron mottles	brown or black, ‘Beek’ earth soils	>210 µm	geen inde- ling / no subdivision	pZg23 pZg30
	zonder ijzerhuidjes, roestarm / without iron coatings, few iron mottles	zwart, Goor- eerdgronden / black, ‘Goor’ earth soils	<210 µm	A, AB, B	pZn21
			>210 µm	geen inde- ling / no subdivision	pZn23 pZn30
Vaaggronden	zonder ijzerhuidjes /	–	–	–	–
Vague soils	without iron coatings	geen indeling, Vlakvaaggronden / no subdivision, ‘Vlak’ vague soils	<210 µm	A, AB, B	Zn21
			>210 µm	geen inde- ling / no subdivision	BC,C,CD,D Zn23 Zn30

1. Mediaan van de zandfractie / median of the sand separate. 2. In de bovengrond / in the topsoil: A, AB, B = 0–17½% <50 µm en / and <8% lutum / clay, BC, C, CD, D = 17½–50% <50 µm en / and <8% lutum / clay.

Tabel 5. Indeling van de gleygronden in Hoofdklasse X, rivierkleigronden, van de legenda van de bodemkaart 1:50000 van Nederland, vereenvoudigd naar Stichting voor Bodemkartering (1966a). / Classification of the gley soils in Main Class X, river clay soils, of the legend of the soil map 1:50000 of the Netherlands, simplified after Stichting voor Bodemkartering (1966a).

	Hydromorfe kenmerken Hydromorphic features	Kalkverloop Carbonate profile	Bouwvoor- zwaarte Texture of topsoil	Profiel- verloop Texture profile	Code
-	-	-	-	-	-
Vaaggronden Vague soils	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	Poldervaag- gronden 'Polder' vague soils	-	-	-	-
		BC. C <sup>1</sup>	8-35 <sup>2</sup>	2 <sup>3</sup>	Rn62C
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

1. Kalkloos / non-calcareous.

2. 8-35% lutum in de bovengrond / clay in the topsoil.

3. Ongeveer 60 cm rivierklei op pleistocene zand / about 60 cm river clay over Pleistocene sand.

Tabel 6. Indeling van de gleygronden in Hoofdklasse XII, leemgronden, van de legenda van de bodemkaart 1:50000 van Nederland, vereenvoudigd naar Stichting voor Bodemkartering (1966a). / Classification of the gley soils in Main Class XII, 'leem' soils (soils developed in aeolian non-sandy deposits) of the legend of the soil map 1:50000 of the Netherlands, simplified after Stichting voor Bodemkartering (1966a).

Hydromorfe kenmerken subgroep Hydromorphic features subgroup	Textuur van de bovengrond Texture of top soil	Code
Roestig in de boven- grond. Leekeerdgronden / iron mottles in topsoil. 'Leek' earth soils	Zandige leem <sup>1</sup> Silty loam	pLn5
-	-	-
-	-	-
-	-	-

1. 50-85% <50 µm en /and 0-17½% lutum / clay.

8 en 35% hebben en zand beginnend tussen 40 en 80 cm diepte (Rn62C). De gleygronden met een lage lutum/leem-verhouding die verder van de rivieren liggen, zijn vrij zeker geheel of grotendeels in eolisch materiaal ontstaan en worden daarom tot de leemgronden gerekend. Het zijn Leekeerdgronden met als textuur zandige leem, die als pLn5 worden gekarteerd.

Zoals uit het bovenstaande blijkt, sluit de legenda voor de bodemkaart 1:50000

aan op het Systeem van Bodemclassificatie. Daar de legenda, in tegenstelling tot de bodemclassificatie, geen afvalstelsel is, wijkt de rangschikking der onderscheidingen dikwijls af. Een ander, belangrijk verschil tussen beide schema's is, dat de 1:50000-legenda uitgebreid is met onderscheidingen voor onder andere kalkgehalte en textuur.

De legenda voor de 1:50000 bodemkaart kent voorts een aantal zogenaamde toevoegingen, waarvan de volgende voor de gleygronden van betekenis zijn:

*voor de bovengronden:*

s... een 5 à 15 cm dik zanddek, bijv. bezandingsdekken op Broekeerdgronden;

k... een 15 à 40 cm dik kleidek, bijv. bij Beekeerdgronden, die met rivierklei zijn overslibd;

g... grind ondieper dan 40 cm, bijv. bij ondiep voorkomende hoogterraszanden;

f... plaatselijk ijzerrijk (rodoornig);

*voor de ondergronden:*

...x oude klei tussen 40 en 120 cm diepte beginnend, bijv. gleygronden op tertiaire of oud-pleistocene klei;

...g grof zand en/of grind beginnend tussen 40 en 80 cm diepte, bijv. hoogterraszanden en grinden;

...p pleistoceen zand beginnend tussen 40 en 120 cm diepte, bijv. bij Rn62Cp.

Waar de gleygronden in het Systeem van Bodemclassificatie in 7 eenheden zijn ondergebracht, geeft de 1:50000-legenda een beduidend groter aantal onderscheidingen, die voornamelijk op verschillen in de textuur berusten. Wat dit betreft kan de bodemkaart 1:50000 een vrij goede informatie omtrent kenmerken en eigenschappen, landschappelijke ligging en verbreiding van de gleygronden geven.

### 3.5 Legenda Luttenberg

Naarmate waarnemingsintensiteit en kaartschaal groter zijn, kan de legenda gedetailleerder en de informatie over de gronden vollediger zijn. Als voorbeeld kunnen legenda en bodemkaart, schaal 1:10000 van Luttenberg, gelegen in het noordoosten van Salland, dienen (Buitenhuis et al., 1962).

In hoofdzaak onderscheidt de legenda zandgronden, beekkleigronden en veengronden, dat is een indeling naar textuur en humusgehalte (tabel 7). De zandgronden worden naar de hoogteligging in drie groepen onderverdeeld, waarvan alleen in de derde groep, de lage en zeer lage zandgronden, gleygronden voorkomen. Zij worden naar humusgehalte, dikte en textuur van de bovengrond en naar 'profielbenaming' verder ingedeeld (tabel 8). De meeste criteria zijn ontleend aan de bodemclassificatie, hun rangschikking wijkt echter sterk daarvan af. De 'profielbenaming' bijv. die het onderscheid tussen Podzolgronden en Eerdgronden aangeeft, is in de bodemclassificatie op ordeniveau, doch hier op het voorlaatste niveau geplaatst. De beekkleigronden van Luttenberg (tabel 9) bevatten vrij veel lutum in de bovengrond (8-25%). Naar de dikte van het beekkleidek en naar het humusgehalte van de bovengrond worden 4 kaarteenheden onderscheiden, die alle tot de gleygronden kunnen worden gerekend.



Tabel 7. Hoofddeling van de legenda van de bodemkaart 1:10000 van Luttenberg, naar Buitenhuis et al. (1962). / Main division of the legend of the 1:10000 soil map of Luttenberg, Buitenhuis et al. (1962).

I	Zandgronden Sandy soils	Ia	Hoge en middelhoge zandgronden High and moderately high sandy soils
		Ib	Middelhoge en lage zandgronden Moderately high and low sandy soils
		Ic	Lage en zeer lage zandgronden Low and very low sandy soils
II	Beekkleigronden Brook deposit soils		
III	Veengronden Peat soils		
IV	Toevoegingen Additions		
V	Algemene onderscheidingen Miscellaneous		

Tabel 9. Indeling van de gleygronden in de klasse 'beekkleigronden' van de legenda van de bodemkaart 1:10000 van Luttenberg, naar Buitenhuis et al. (1962) / Classification of the gley soils in class 'beekkleigronden' (brook deposit soils) of the legend of the soil map 1:10000 of Luttenberg, Buitenhuis et al. (1962).

Dikte van het beekkleidek Thickness of brook clay cover	Ondiep <40 cm /thin		Matig diep 40-80 cm / Moderately thick	
Humusklasse van de bovengrond Organic matter in topsoil	Humeus en humusrijk humose and rich in humus	Venig en veen peaty and peat	Humeus en humusrijk humose and rich in humus	Venig en veen peaty and peat
Lichte en zware zavel <sup>1</sup>	BK1	vBK1	BK2	vBK2

1. Het beekkleidek bevat 8-25% lutum. / The brook clay cover contains 8-25% clay.

Er zijn in totaal 20 eenheden, die tot de gleygronden behoren. Daarvan zijn de roest-arme A/C-profielen (Zn en cZn) voor een belangrijk deel identiek met de Gooreerdgronden. Een deel van de roestige A/C-profielen (Gn en cGn) en van de beekkleigronden (BK1) zijn Zwarte Beekeerdgronden. De met vGn, vZn en vBK1 aangegeven gronden zijn Broekeerdgronden.

Van enkele van de belangrijkste gleygronden in Luttenberg zijn in tabel 10 en 11 korte profielbeschrijvingen gegeven. Tabel 15 bevat een overzicht van de oppervlakten van de verschillende kaarteenheden.

Opmerkelijk is het onderscheid in dunne en matig dikke bovengronden bij de gleygronden in Luttenberg. Een dergelijk onderscheid wordt in de 1:50000-legenda

Tabel 8. Indeling van de gleygronden in de klasse 'lage en zeer lage zandgronden' van de legenda van de bodemkaart 1:10000 van Luttienberg, vereenvoudigd naar Buitenhuis et al. (1962). / Classification of the gley soils in the class 'low and very low sandy soils' of the legend of the soil map 1:10000 of Luttienberg, simplified after Buitenhuis et al. (1962).

Humusklasse bovengrond Organic matter in topsoil	Humusarm Poor in humus		Humeus en humusrijk Humose and rich in humus		Venig en veen Peaty and peat	
	dun thin	<30 cm	dun thin	<30 cm matig dik moderately thick	30-50 cm dun thin	<40 cm
Profielbenaming Soil name	stuifz. h.p.	A/Cra h.p.	A/Cr h.p.	A/Cr h.p.	A/Cr h.p.	A/Cra h.p.
Leemarm fijn zand			Gn15	Zn15	-	-
Loam-poor fine sand			Gn34	Zn34	-	-
Zwak lemig fijn zand	aZn34		Gn34	cZn34	-	vZn34
Slightly loamy fine sand			Gn53	cZn53	-	-
Sterk lemig fijn zand			Gn72	-	-	-
Very loamy fine sand						
Zeer sterk lemig fijn zand						
Extremely loamy fine sand						

stuifz. = stuifzand / blown sand;

A/Cra = A/C profiel, roestarm / A/C profile, few iron mottles;

A/Cr = A/C profiel, roestig / A/C profile, common iron mottles;

h.p. = humuspodzolen / humuspodzols.

- = Andere onderscheidingen / other mapping units.

Tabel 10. Korte profielbeschrijvingen van een zwak lemige gleygrond (Gn34) en van een sterk lemige gleygrond (Gn 53), beide met Gt IIIa (Buitenhuis et al., 1962). / Short profile descriptions of a slightly loamy gley soil (Gn34) and a very loamy gley soil (Gn53), both with watertable class IIIa (Buitenhuis et al., 1962).

Diepte in cm Depth	Horizont Horizon	Kleur Colour	Gehalte org. stof % organic matter	% <50 µm	M50 <sup>1</sup>	Roest Iron mottles
<b>Gn34</b>						
0-15	A1g	Ze <sup>er</sup> don- ker grijs Very dark gray	9	19	ca. 150	Weinig Few
15-70	C11g	Lichtgrijs Light-gray	<1	11	ca. 140	Matig veel Common
70-105	C12g	Lichtgrijs Light-gray	<1	15	ca. 140	Weinig Few
105->120	G	Blauwgrijs Blue-gray	<1	15	ca. 140	Geen None
<b>Gn53</b>						
0-25	A1g	Zwart Black	8	25	ca. 150	Weinig Few
25-50	C11g	Lichtgrijs Light-gray	<1	25	ca. 140	Veel Many
50-110	C12g	Lichtgrijs Light-gray	<1	20	ca. 140	Weinig Few
110->120	G	Blauwgrijs Blue-gray	<1	20	ca. 140	Geen None

1. Mediaan van de zandfractie / median of the sand separate.

Tabel 11. Korte profielbeschrijving van een beekkleigrond (BK1) met Gt IIa (Buitenhuis et al., 1962). / Short profile description of a brook deposit soil (BK1) with watertable class IIa (Buitenhuis et al., 1962).

Diepte in cm Depth	Horizont Horizon	Kleur Colour	Gehalte org. stof % organic matter	% <50 µm	M50 <sup>1</sup>	Roest Iron mottles
0-35	A1g	Ze <sup>er</sup> don- ker bruin Very dark brown	9	55	ca. 110	Ze <sup>er</sup> veel Very many
35-60	C1g	Lichtgrijs Light-gray	<1	18	ca. 140	Ze <sup>er</sup> veel Very many
60->120	G	Blauwgrijs Blue-gray	<1	16	ca. 140	Geen None

1. Mediaan van de zandfractie / median of the sand separate.

wel bij de Humuspodzolgronden, echter niet bij de Beekeerdgronden gemaakt. Gezien de grote betekenis die de organische stof heeft voor de bodemgeschiktheid, zou het invoeren van zo'n onderscheid in de 50000-legenda zeker zin hebben. Waarschijnlijk zouden bovendien belangrijke regionale verschillen op de bodemkaarten kunnen worden vastgelegd.

In Luttenberg verloopt de opeenvolging van lichte naar zware gleygronden aldus: van de roestige A/C-profielen met een dunne bovengrond naar de beekkleigronden Gn15, Gn34, Gn53, Gn72, BK1 en BK2. Volgens de 1:50000-legenda luidt deze reeks: pZg21, pZg23, kpZg23 en Rn62C. Door nu bij de Beekeerdgronden een kaarteenheden pZg25 in te voeren voor de textuurgroep met zeer sterk lemig zand tot zandige leem, overeenkomend met kpZg23, zouden een logischer legenda en kaartbeeld ontstaan. Op analoge wijze zouden bij de Gooreerdgronden en de Vlakvaaggronden de eenheden pZn25 en Zn25 kunnen worden ingevoerd. Het resultaat daarvan zou zijn, dat de geleidelijkheid van de overgang van de gronden in de beekdalen van Salland naar de rivierkleigronden van de IJssel duidelijker tot uitdrukking komt dan thans het geval is op de bodemkaart Hattem-Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c). Wanneer de zwaardere gleygronden eolisch zijn, zoals met de beekkleigronden van Luttenberg grotendeels het geval is, wordt de opeenvolging van licht naar zwaar: pZg21, pZg23, pZg25 en pLn5.

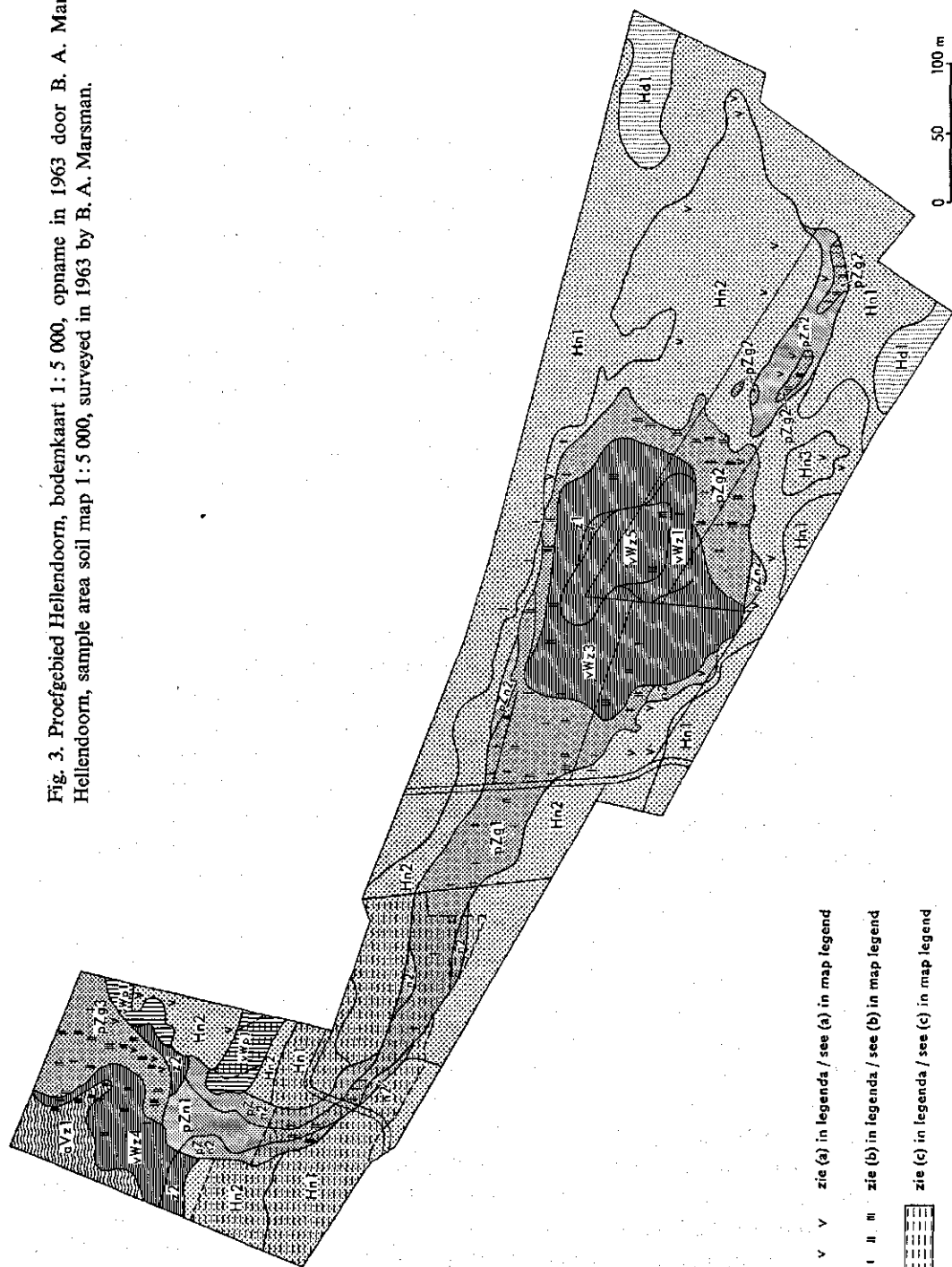
### 3.6 Legenda Hellendoorn

Het proefgebied 'Hellendoorn' (Marsman, 1964) ligt binnen het gebied van de kartering Luttenberg en is 16 ha groot. De bodemkaart op schaal 1:5000 (fig. 3) berust op een grote waarnemingsdichtheid, waarvoor als maatstaf de boringsdichtheid van ca. 40 boringen per ha kan worden genomen. De legenda omvat 16 eenheden, waarvan er 10 tot de gleygronden behoren. Het overeenkomstige stuk van de bodemkaart van Luttenberg geeft hier 4 eenheden, te weten zwak lemige humuspodzolen, sterk lemige humuspodzolen, sterk lemige gleygronden en zwak lemige oude bouwlanden. De hoofdindeling van de legenda, die wordt aangegeven met lettercombinaties, is gelijk aan die van de 1:50000-kartering. De onderverdeling in cijfers heeft alleen betrekking op dit proefgebied.

De Broekeerdgronden van Hellendoorn zijn naar verschillen in roestigheid, lemigheid en gehalte aan organische stof in 5 eenheden verdeeld. Daarvan zijn vWz1, vWz2 en vWz5 roestarm, ze zouden 'moerige Gooreerdgronden' kunnen worden genoemd, een benaming die evenwel noch in de Bodemclassificatie, noch in de 1:50000-legenda voorkomt. Evenzo zouden de roestige Broekeerdgronden, vWz3 en vWz4, 'moerige Beekeerdgronden' kunnen worden genoemd.

De Zwarte Beekeerdgronden, pZg1 t/m pZg3, verschillen in lemigheid, zij komen respectievelijk overeen met pZg21, pZg23 en kpZg23 van de 1:50000-legenda. Ook de indeling van de Gooreerdgronden in pZn1 en pZn2 berust op een verschil in leemgehalte. Het kaartbeeld toont, dat deze gronden de overgang vormen van de Beekeerdgronden naar de Podzolgronden enerzijds en naar de Broekeerdgronden anderzijds.

Fig. 3. Proefgebied Hellendoorn, bodemkaart 1:5 000, opname in 1963 door B. A. Marsman.  
Hellendoorn, sample area soil map 1:5 000, surveyed in 1963 by B. A. Marsman.



### Legenda Bodemkaart Hellendoorn (fig. 3).

#### I Veengronden

Moedgronden, zand < 120 cm, zonder h.p., aVz

aVz1, 40-60 cm veen op leem op zand

#### II Moerige gronden

Moerpodzolgronden, moerige A, op zand met humuspodzol-B, vWp

vWp1, roestarm, sterk lemig

Broekpodzolgronden, moerige A1 op zand zonder B-horizont, vWz

vWz1, roestarm, zwak-sterk lemig zand

vWz2, roestarm, sterk lemig zand

vWz3, roestig, sterk lemig zand, soms humusrijke A1

vWz4, roestig, zeer sterk lemig zand

vWz5, 20-40 cm zandig veen op roestloos zand

#### III Podzolgronden

Veldpodzolgronden, Hn

Hn1, leemarm zand

Hn2, zwak-sterk lemig zand

Hn3, sterk lemig zand

Haarpodzolgronden, Hd

Hd1, leemarm zand

#### VI Kalkloze zandgronden

Zwarte Beekzandgronden, pZg

pZg1, zwak lemig zand

pZg2, sterk lemig zand

pZg3, zeer sterk lemig zand

Goorezandgronden, pZn

pZn1, zwak lemig zand

pZn2, zwak-sterk lemig zand

#### Toevoegingen:

(a) = plekken met moerige A1 (in III en VI)

(b) = plekken met resp. enkele, matig veel en veel ijzerconcreties in of vlak onder de A1

(c) = humushoudende bovengrond is 50-70 cm dik

Indeling in hoofdzak volgens de legenda van de Bodemkaart van Nederland

1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering, 1966a).

Plaatselijk voorkomende 30-50 cm dikke bovengronden en ca. 10 cm dikke

bezandingslaagjes zijn niet vermeld.

M50 als regel 130-170 µm.

### Legend Soil Map Hellendoorn (Fig. 3).

#### I Peat soils

'Made' peat soils, sand < 120 cm, without humus podzol B, aVz

aVz1, 40-60 cm peat on loam on sand

#### II Peaty soils

'Moer' podzol soils, peaty A1 on sand with humus podzol B, vWp

vWp1, few iron mottles, very loamy sand

'Broek' earth soils, peaty A1 on sand without humus podzol B, vWz

vWz1, few iron mottles, slightly to very loamy sand

vWz2, few iron mottles, very loamy sand

vWz3, common iron mottles, very loamy sand, in places rich in humus

vWz4, common iron mottles, extremely loamy sand

vWz5, 20-40 cm sandy peat on sand without iron mottles

#### III Podzol soils

'Veld' podzol soils, Al humose, B horizon without iron coatings, Hn

Hn1, loam-poor sand

Hn2, slightly to very loamy sand

Hn3, very loamy sand

'Haar' podzol soils, Al humose, B horizon with iron coatings, Hd

Hd1, loam-poor sand

#### VI Non-calcareous sandy soils

Black 'Beek' earth soils, Al humose, with mottles, without B horizon, pZg

pZg1, slightly loamy sand

pZg2, very loamy sand

pZg3, extremely loamy sand

'Goor' earth soils, Al humose, without mottles, without B horizon, pZn

pZn1, slightly loamy sand

pZn2, slightly to very loamy sand

#### Additions

(a) = (in III and VI) peaty A1

(b) = few, common and many iron concretions, respectively, in or just below the A1

(c) = humose topsoil 50-70 cm thick

This legend has been derived mainly from the legend of the Soil Map of the

Netherlands 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering, 1966a).

Locally occurring 30-50 cm thick topsoils and sand covers about 10 cm thick

have been omitted.

The median of the sand separates is about 130-170 µm.

Een deel van de gronden heeft een matig dikke, humeuze bovengrond (30–50 cm dik); omdat dit zeer plaatselijk het geval is, kon het niet op de bodemkaart worden aangegeven. Was dit wel het geval geweest, dan zou aan de codering van de betrokken gronden een c zijn toegevoegd, evenals dat met de code cHn in de 50000-legenda is gedaan. Een ander deel van de gronden in Hellendoorn heeft een 50–80 cm dikke, humeuze bovengrond, die met een arcering op de bodemkaart is aangegeven. Het zijn Enkeerdgronden. Er is hier de vorm van een toevoeging gekozen, omdat op deze wijze de toestand vóór het aanbrengen van het humeuze dek kan worden aangegeven. Op de bodemkaart blijkt nu duidelijk, dat het beekdal in het midden van het gebied oorspronkelijk aansloot op de lage gronden van het Hellendoornsche Broek in het noordwesten.

Sommige Podzolgronden en kalkloze zandgronden hebben een moerige bovengrond, hetgeen niet op de kaart kan worden afgegrensd en daarom met een toevoeging (v) is aangegeven. Plaatselijk komen ijzerconcreties in wisselende hoeveelheden voor. Ook dit werd, omdat een afgrenzing op de bodemkaart niet mogelijk was, in de vorm van een toevoeging, met signaturen op de kaart aangegeven.

### 3.7 Legenda Vloedgraven

In het gebied ten noordoosten van Bathmen werd het proefgebied 'Vloedgraven' gekarteerd (Marsman, 1965). De oppervlakte is ongeveer 2 ha, het aantal boringen bedroeg ongeveer 115 per ha; er werd tot 150 à 300 cm diepte geboord, naar gelang de diepte van het grondwater dit toeliet.

De bodemkaart Hattem-Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c) geeft de gleygronden ter plaatse aan met fkpZg23, dat wil zeggen lemige, fijnzandige Beekeerdgronden met een kleidek en plaatselijk rodoornig. Legenda en bodemkaart van Vloedgraven, schaal 1:2000, onderscheiden in de gleygronden 7 eenheden (fig. 4). De Zwarte Beekeerdgronden zijn naar textuur en rodoornigheid gesplitst in drie eenheden, pZg1, pZg2 en fpZg3, overeenkomend met respectievelijk pZg21, pZg23 en fkpZg23 van de 1:50000-legenda. De Gooreerdgronden zijn zwak lemig en werden gesplitst in pZn1 en pZn2, naar het al dan niet voorkomen van een zwakke humuspodzol-B. Beide eenheden komen overeen met pZn21 van de 1:50000-legenda. De Vlakvaaggronden zijn steeds rodoornig en sterk of zeer sterk lemig. Ze werden aangegeven met respectievelijk fZn1 en fZn2, overeenkomend met fZn23 en fkpZn23 van de legenda 1:50000.

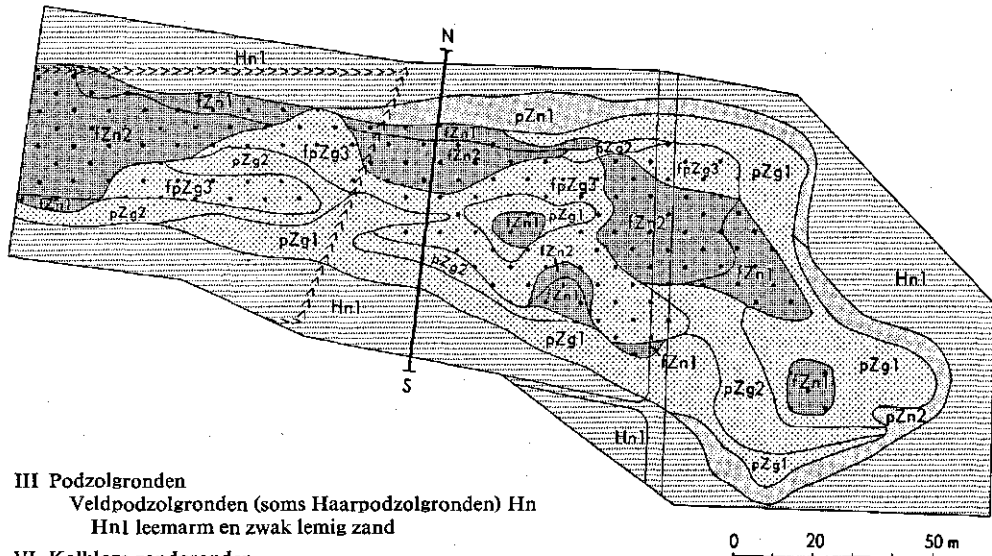
De legenda bevat geen toevoegingen. De rodoornigheid, typisch voorbeeld van een zeer plaatselijk verschijnsel en op alle genoemde kaarten als 'plaatselijk voorkomend' vermeld, kon hier op normale wijze worden afgegrensd.

### 3.8 Amerikaanse bodemclassificatie

Sinds 1951 wordt in de Verenigde Staten gewerkt aan een systeem van bodemclassificatie, waarvan in 1960 de '7th Approximation' verscheen, sindsdien gevolgd door een aantal supplementen (Soil Survey Staff). Het volgende is afgestemd op het supplement



Fig. 4. Proefgebied Vloedgraven, bodemkaart 1:2000, opname in 1964 door B. A. Marsman, N—S = dwarsdoorsnede fig. 43. / Vloedgraven sample area, soil map 1:2000, surveyed in 1964 by B. A. Marsman, N—S = cross section fig. 43.



### III Podzolgronden

Veldpodzolgronden (soms Haarpodzolgronden) Hn  
Hn1 leemarm en zwak lemig zand

### VI Kalkloze zandgronden

Zwarte Beekeerdgronden pZg

pZg1 zwak lemig zand

pZg2 sterk lemig zand

fpZg3 sterk lemig zand, rodoornig

Gooreerdgronden pZn

pZn1 zwak lemig zand met zwakke humuspodzol-B

pZn2 zwak lemig zand zonder zwakke humuspodzol-B

Vlakvaaggronden Zn

fZn1 sterk lemig zand, rodoornig

fZn2 zeer sterk lemig zand, rodoornig

De indeling is in hoofdzaak volgens de legenda van de Bodemkaart van Nederland 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering 1966a).

M50 als regel 130–170  $\mu\text{m}$ .

### Legend

#### III Podzol soils

'Veld' podzol soils, in places 'Haar' podzol soils, thin humose A1, no iron coatings, in places iron coatings, Hn

Hn1 loam-poor to slightly loamy sand

#### VI Non-calcareous sandy soils

Black 'Beek' earth soils, thin humose A1, iron mottles, pZg

pZg1 slightly loamy sand

pZg2 very loamy sand

fpZg3 very loamy sand, iron concretions

'Goor' earth soils, thin humose A1, no iron mottles, pZn

pZn1 slightly loamy sand, with weak humus podzol B

pZn2 slightly loamy sand, without weak humus podzol B

'Vlak' vague soils, very thin humose A1, iron mottles, Zn

fZn1 very loamy sand, iron concretions

fZn2 extremely loamy sand, iron concretions

The legend has been derived mainly from the legend of the soil map of the Netherlands 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering 1966a).

The median of the sand separates is about 130–170  $\mu\text{m}$ .

van maart 1967.

Het voorlopige Amerikaanse systeem is een genetisch systeem, dat zijn criteria ontleent aan het bodemprofiel. Het is van groot praktisch belang dat men zich, evenals in het huidige Nederlandse systeem, niet heeft beperkt tot de omschrijving van de normgronden (central concepts), maar zich heeft toegelegd op de omschrijving van de grenzen tussen de verschillende eenheden (Schelling, 1959). Het Amerikaanse schema is bijzonder gecompliceerd en vooral op de Amerikaanse omstandigheden afgestemd. Bij de hiervolgende bespreking worden alleen de voor de classificatie van de gleygronden belangrijkste punten aangevoerd.

In de eerste plaats moet worden vastgesteld welke diagnostische epipedons en andere horizonten bij de classificatie van de gleygronden van belang zijn.

Het *anthropic epipedon* heeft betrekking op bovengronden, die geheel of gedeeltelijk zijn ontstaan onder invloed van langdurige bemestingen met organische stoffen. Zij hebben een fosfaatgehalte van meer dan 250 ppm, oplosbaar in citroenzuur, overeenkomend met een P-citr.-cijfer van 25. De bovengronden van de gleygronden zijn niet of slechts ten dele ontstaan onder invloed van deze organische bemestingen en zouden dus niet *anthropic* zijn. Vele Nederlandse zandgronden, waaronder waarschijnlijk ook gleygronden, hebben evenwel fosfaatcijfers die tussen 25 en 40 liggen. In dit opzicht voldoen ze wel aan de eisen voor het *anthropic epipedon*; daar vrij zeker deze fosfaatcijfers het gevolg zijn van kunstmestgiften en niet van organische bemestingen kunnen de bovengronden toch niet *anthropic* worden genoemd. Omdat bovendien dit epipedon in de classificatie een kleine rol speelt, kan deze mogelijkheid verder buiten beschouwing blijven.

Een belangrijk deel van de gleygronden heeft een *histic epipedon*, waarvoor de eisen ongeveer met die voor de moerige bovengronden van het Nederlandse systeem overeenstemmen.

In de definities van de mollic en umbric epipedons en van de cambic horizon komt een gelijkkluidend textuurcriterium voor, dat hier eerst wordt behandeld. Het gaat hier om loamy very fine sand en fijner tegenover loamy fine sand en grover. Omdat in de gleygronden weinig very fine sand (50–100  $\mu\text{m}$ ) en overwegend fine sand (100–250  $\mu\text{m}$ ) voorkomt, kan voor de classificatie van de gleygronden bovenstaand onderscheid vervangen worden door sandy loam en zwaarder tegenover loamy sand en lichter. Omdat de klassegrenzen in de Amerikaanse en Nederlandse textuurindelingen niet parallel lopen, vereenvoudigen we het bovenstaande tot meer, respectievelijk minder dan 25% leem, welke norm hier verder zal worden gehanteerd.

In de *cambic horizon* heeft o.a. enige verwering, ontkalking en verplaatsing van ijzerverbindingen plaatsgehad, zodat we de C1g-horizonten van de gleygronden hiermede kunnen vergelijken en cambic zouden kunnen noemen. Voor een cambic horizon geldt bovendien de bovenstaande textuureis in die zin, dat slechts horizonten met meer dan ongeveer 25% leem cambic kunnen zijn. Dit percentage komt echter in de C1g-horizont van vele gleygronden in het geheel niet voor, en in de overige wordt het slechts in het bovenste deel van deze horizont bereikt, zodat het aantal gevallen van een gleygrond met een cambic horizon beperkt is.

*Mollic* en *umbric epipedons* zijn, blijkens de omschrijvingen in de Amerikaanse classificatie, globaal genomen identiek met de minerale eedrlagen. Het structuurcriterium is niet van toepassing, niet zozeer omdat de gronden weinig lutum bevatten en de structuur daarom hoogstens zwak ontwikkeld is, maar vooral omdat het criterium slechts dan geldt, wanneer de gronden regelmatig uitdrogen, hetgeen bij de gleygronden niet het geval is. De value en het chroma moeten beide lager dan 3,5 zijn, aan welke eisen de minerale eedrlagen voldoen. Het gehalte aan organische stof is over het algemeen voldoende.

De dikte-eisen voor deze epipedons variëren onder andere naar de textuur. Wanneer de bovengronden minder dan ongeveer 25 % leem bevatten (de 25 % leemgrens is hierboven toegelicht), moet de A1 dikker dan 25 cm zijn om mollic of umbric te kunnen worden genoemd. Is het leemgehalte hoger dan ongeveer 25 %, dan is bij de gleygronden als regel tevens een cambic horizon aanwezig. Stellen we de ondergrens van de cambic horizon op bijv. 50 cm -mv., tevens de ondergrens van het solum, dan moet de A1 ten minste 17 cm dik zijn om mollic of umbric te kunnen worden genoemd.

De eis van een fosfaatgehalte van 250 ppm blijft, zoals eerder opgemerkt, buiten beschouwing. Het onderscheid tussen een mollic en een umbric epipedon is vooral een verschil in basenverzadiging, die respectievelijk hoger en lager dan 50 % moet zijn. De woeste gleygronden hebben ongeveer deze grenswaarde, de ontgonnen gleygronden, die verreweg de grootste oppervlakte innemen, hebben een basenverzadiging van omstreeks 60 %. Voor zover zij aan andere genoemde eisen voldoen, hebben de gleygronden daarom zelden een umbric epipedon; meestal is er een mollic epipedon aanwezig.

Bovengronden die niet histic, mollic of umbric zijn, worden *ochric* genoemd. Bij dit epipedon wordt vooral gedacht aan dunne en/of humusarme bovengronden. In Salland zijn de bovengronden van de gleygronden in vele gevallen ochric, niet omdat het humusgehalte te laag is, maar omdat de dikte onvoldoende is, dikwijls minder dan 25 cm. Naar Nederlandse maatstaven is dit een onbevredigende toestand. Er zou in kunnen worden voorzien door bijv. de eisen voor het mollic (en umbric) epipedon af te zwakken, zodat meer bovengronden mollic of umbric kunnen worden genoemd. Dit kan worden bereikt door de eis voor de basenverzadiging van 50 % naar bijv. 70 % te verschuiven en door de dikte-eisen, ongeacht de textuur, op minstens 15 cm te stellen. Uiteraard kunnen, vanuit Nederland, de konsekventies voor de verdere indeling niet worden overzien. Het is bijv. denkbaar dat dan ook voor de cambic horizon de textuureis zal moeten vervallen.

Evenmin als het Nederlandse schema voorziet het Amerikaanse in een classificatie van de rodoornige gronden. Een nieuwe subgroep die, gezien de relatie met de ijzerverbindingen 'ferric' zou kunnen worden genoemd, zou daartoe kunnen worden voorgesteld. Omdat rodoornigheid voorkomt bij een aantal gronden waarvan het om andere redenen dan de rodoornigheid, gewenst is dat zij op subgroepniveau worden onderscheiden, zou een onderscheid op faseniveau een betere oplossing zijn.

De indeling van de voornaamste gleygronden volgens het Amerikaanse schema verloopt in grote lijnen als volgt (vgl. tabel 12):

Tabel 12. Indeling van de gleygronden volgens verschillende classificatiesystemen. / Classification of the gley soils in different systems.

Oudere Ned. namen Former Du. names	Ned. classi- ficatie Du. classi- fication 1966	Legenda bij kaart Legend to map 1:50000	7th Approx- imation + Suppl. 1967	Westduitse classificatie West German classification (Mückenhau- sen, 1962)
Venige gleygronden	Broek- eerdgronden	Broek- eerdgronden enz. vWz	Histic Humaquepts	Anmoorgley
Bruine gleygronden	Bruine Beek- eerdgronden	Beek- eerdgronden pZg	Typic Haplaquolls (A1 > 25 cm)	Brauneerde- gley
Oligotrofe gleygronden	Goor- eerdgronden	Goor- eerdgronden pZn	Mollic (spodic of albic <sup>1</sup> ) Psammaquents	Gebleichter Gley
Zwarte gleygronden	Zwarte Beek- eerdgronden	Beek- eerdgronden pZg	Mollic (umbric) Psamma- quents (A1 15-25 cm) Typic Haplaquolls (A1 > 25 cm)	Typischer Gley
Beeklei- gronden	Leek- eerdgronden	Leek eerdgronden pLn	Typic Haplaquolls (A1 > 25 cm)	Auengley (?)
	Vlak- vaaggronden	Vlak- vaaggronden Zn	Typic Psammaquents (<25% leem)	
	Polder- vaaggronden	Polder- vaaggronden Rn62C	Typic Haplaquepts	
Rodoornige gleygronden	-	toevoeging rodoornig	Ferric <sup>1,2</sup> subgroup	Eisenreicher Gley

1. Deze onderscheidingen komen niet voor in de 7th Approximation. / These units do not occur in the 7th Approximation.

2. De classificatie als fase heeft de voorkeur / Preferably classified as a phase.

De *Vlakvaaggronden* (A1 < 15 cm, leemgehalte < 25%) behoren, vooral omdat zij een ochric epipedon bezitten en een cambic horizon missen, tot de *Entisols*. Omdat het natte gronden zijn, worden het *Aquents*. In verband met de rijpings-, klimaats- en textuureisen behoren ze tot de *Psammaquents*. Omdat de donkergekleurde A1 dunner dan 15 cm is, worden het *Typic Psammaquents*.

Een belangrijk deel van de *Beekeerdgronden* en de *Gooreerdgronden* in Salland heeft een leemgehalte < 25% en een A1, die 15-25 cm dik is. Voor deze gronden verloopt de classificatie vrijwel op dezelfde wijze als voor de *Vlakvaaggronden*: het zijn weer *Psammaquents*. Omdat de A1 dikker dan 15 cm is, worden het evenwel *Mollic Psammaquents*. Afgezien van het bezwaar om deze gronden tot de *Entisols* te rekenen (ze zouden beter bij de *Inceptisols* kunnen worden ingedeeld), zou een umbric subgroep hier op zijn plaats zijn. Een classificatie als *Umbric Psammaquents* lijkt meer in overeenstemming met de concepties van zowel het umbric als van het mollic epipedon. Dit geldt ook voor de *Gooreerdgronden*, voor een deel daarvan zou echter in verband met

Foto 2. Landschap van de gleygronden : meestal vlakke, smalle laagten en soms bredere vlakten die als grasland in gebruik zijn ; langs de perceelsscheidingen o.a. elzen. / Plate 2. Landscape of the gley soils : mainly narrow brook valleys or wide plains with pastures ; mainly alder along ditches.

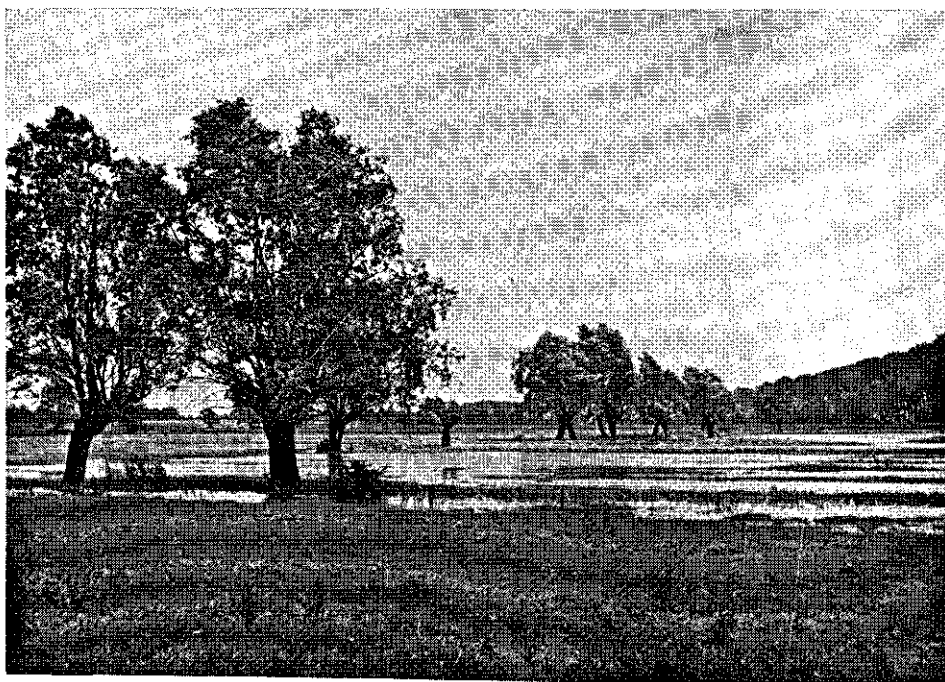


het zwakke podzolkarakter van deze gronden een spodic (of albic) subgroep op zijn plaats zijn.

Een ander deel van de *Beekeerdgronden*, evenals sommige *Leekeerdgronden*, heeft een A1 die dikker dan 25 cm is. In Salland is de oppervlakte daarvan niet groot, in tegenstelling tot bijv. de Gelderse Vallei en Noordbrabant, waar vrij veel *Beekeerdgronden* met een 25 tot 40 cm dikke A1 voorkomen, waaronder bijv. vele *Bruine Beekeerdgronden*. Vooral omdat ze een mollic epipedon bezitten zijn het *Mollisols*. Omdat een zeer kalkrijke laag en een albic horizon ontbreken en omdat er een sterke grondwaterinvloed is, zijn het *Aquolls*. Vervolgens behoren zij tot de *Haplaquolls*, omdat ze niet aan de eisen voor de voorafgaande great groups voldoen. Ten slotte zijn het *Typic Haplaquolls* omdat aan alle eisen voor deze subgroep wordt voldaan.

De *venige gleygronden* (*Broekeerdgronden*) die een vrij grote oppervlakte innemen, en de gleygronden met een umbric epipedon, waarvan de oppervlakte beperkt is en die daarom verder buiten beschouwing blijven, behoren tot de *Inceptisols*. In verband met de hoge grondwaterstanden en de aanwezigheid van een histic epipedon behoren zij tot de *Aquepts* en vervolgens tot de *Humaquepts*. Zij voldoen verder niet aan alle eisen voor de typic subgroep omdat er een histic epipedon aanwezig is, het zijn daarom *Histic Humaquepts*.

Foto 3. Op de zwaardere gleygronden komen behalve populieren (rechtsachter) ook wilgen voor. De toestand langs de Zandwetering bij Deventer na zware regenval. / Plate 3. On the clayey coversand gley soils both poplars (right background) and willows are quite common. Situation after heavy rains along the Zandwetering near Deventer.



De *Poldervaaggronden* hebben, omdat de A1 dun is, een ochric epipedon. De textuur is zodanig dat de C1g-horizont althans ten dele een cambic horizon kan worden genoemd. Vooral om deze redenen behoren de gronden tot de *Inceptisols*. In verband met de hydromorfe kenmerken zijn het *Aquepts*. Omdat zij niet aan de eisen voor de voorafgaande great groups voldoen, zijn het *Haplaquepts*. Omdat vervolgens aan alle eisen voor de typic subgroep wordt voldaan, zijn het *Typic Haplaquepts*.

### 3.9 Westduitse bodemclassificatie

Voor de classificatie van de gleygronden volgens de Westduitse indeling wordt gebruik gemaakt van het systeem, gepubliceerd door Mückenhausen (1962). In dit pedogenetische systeem wordt de nadruk gelegd op de processen, waarvan men aanneemt dat zij zich in de bodem afspelen (Schelling, 1959). Het accent ligt sterk op de normgrond, terwijl de morfometrie weinig naar voren komt.

De hoofdingeling van het systeem berust op de mate van grondwaterinvloed en bestaat uit 4 afdelingen. Deze zijn weer verdeeld in een aantal klassen, typen en subtypen.

De gronden van de eerste afdeling, de Terrestrische Böden, hebben geen invloed van

het grondwater. Tot deze afdeling behoort onder andere de klasse van de Staunässeböden en wel de typen Pseudogley en Stagnogley. Deze zijn niet ontstaan onder invloed van 'normaal' grondwater, maar van een bepaalde vorm van stagnerend grondwater, aangeduid als Staunässe (par. 10.4.7).

De tweede afdeling omvat de Semiterrestrische Böden, dat zijn gronden met een sterke invloed van het grondwater. Hiertoe behoren onder andere de Auenböden, de Gleye en de Marschen.

In de derde en vierde afdeling worden de Subhydrische Böden (onder andere de Gytija), respectievelijk de Moore (laagveen, overgangsvveen en hoogveen) ondergebracht.

De gleygronden kunnen niet tot de Pseudogley en de Stagnogley worden gerekend, daar zij geen Staunässe hebben. De doorlatendheid van de gleygronden, in het bijzonder die van de lagen beneden de humeuze of kleiige bovengrond is zo groot, dat er een normaal grondwaterregiem bestaat. De gleygronden behoren daarom tot de Semiterrestrische Böden en wel tot de Gleye. Binnen deze klasse behoren de meeste gleygronden vervolgens tot het type van de Gley (ook wel Eugley genoemd), gezien hun grondwaterstanden, die tussen 20 en 100 cm -mv. schommelen. Dit type wordt weer onderverdeeld in een aantal subtypen, waarvan de Typischer Gley de meeste gleygronden omvat (tabel 12). De roodoornige gleygronden worden tot de Eisenreicher Gley gerekend, de Gooreerdgronden (oligotrofe gleygronden) hebben veel overeenkomst met de Gebleichter Gley en de bruine gleygronden of Bruine Beekerdgronden kunnen het best Braunerde-Gley worden genoemd.

Een kleiner deel van de gleygronden, namelijk die met grondwaterstanden tussen 0 en 60 cm -mv., behoort tot een ander type, namelijk de Nassgley. De venige gleygronden (Broekerdgronden) ten slotte, behoren tot het type Anmoorgley. De beekkleigronden behoren waarschijnlijk tot de Auengley.

Bij vergelijking met de omschrijvingen van Mückenhausen (1962) blijken de gleygronden redelijk goed in het Duitse systeem te passen. Dit is voornamelijk een gevolg van het feit dat de Nederlandse conceptie van de gleygronden een landschappelijk-pedogenetische is en dat er dus een grote overeenkomst met het Duitse systeem is, en vervolgens dat de gronden in Nederland en Duitsland een grote mate van feitelijke overeenkomst hebben.

De conclusie, dat de gleygronden overwegend tot de Typischer Gley kunnen worden gerekend, stemt overeen met Roeschmann (1960), die veruit het grootste deel van de lage gronden langs de Ems, juist ten oosten van Overijssel, hiertoe rekent. In tabel 12 is een vergelijking gemaakt van de classificatie van de gleygronden volgens enkele systemen.

## 4 Landschap

### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden enkele gegevens over de landschappelijke ligging en de verbreiding van de gleygronden besproken. De oppervlakten die de gleygronden innemen, kunnen van bodemkaarten worden afgeleid. De verbreiding van de gleygronden is zodanig, dat daarin een zekere regelmaat valt te bespeuren, die met behulp van een aantal verspreidingspatronen zal worden toegelicht. De dekzandgebieden bezitten een karakteristiek microreliëf, dat van grote betekenis is voor het ontstaan en de verbreiding van de gleygronden.

### 4.2 Oppervlakten

Een landelijk overzicht van de verbreiding van de gleygronden geeft de NEBO-kaart (Stichting voor Bodemkartering, 1960). Uit de tabellen in de toelichting op deze kaart (Stichting voor Bodemkartering, 1965a) blijkt dat 178000 ha, dat is ca. 5% van de oppervlakte van het land, door de gleygronden van legenda-eenheid 102 wordt ingenomen. In diverse associaties komen naar schatting nog 106000 ha gleygronden voor, zodat de totale oppervlakte ongeveer 284000 ha of 8% bedraagt.

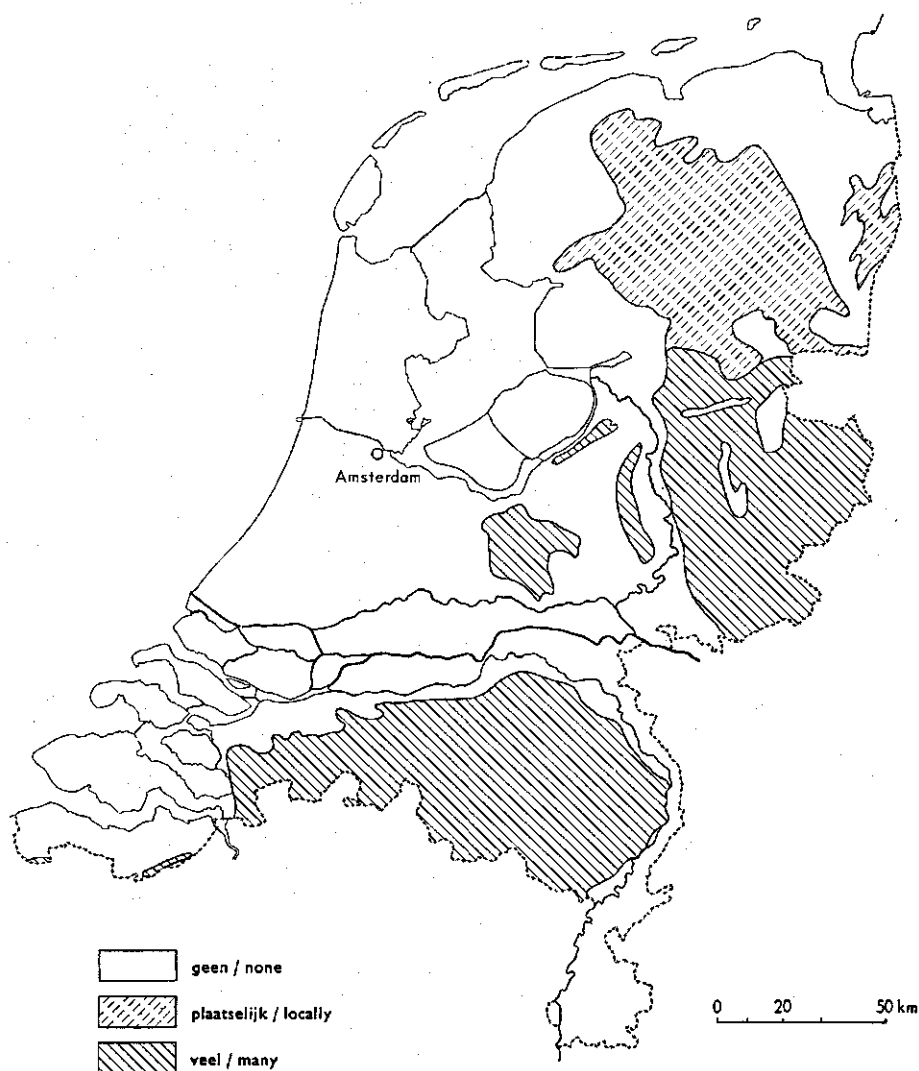
Van de provincies bezitten vooral Overijssel, Gelderland en Noordbrabant veel gleygronden. In Friesland, Drente, Utrecht en Limburg is hun oppervlakte geringer. Landschappen waarin gleygronden voorkomen zijn de Fries-Drentse madelanden en de dekzandgebieden van Twente, de Achterhoek, Salland, de oostelijke Veluwe, de Gelderse Vallei en van Noord-Brabant en Noord Limburg (fig. 5).

Meer informatie over de verspreiding van de gleygronden geven de bladen van de Bodemkaart van Nederland op schaal 1:50000, waarvan in tabel 13 van vier bladen een overzicht wordt gegeven. In de gekarteerde oppervlakten zijn uiteraard ook andere gronden dan die in dekzand zijn ontwikkeld begrepen. De sterk lemige fijnzandige Beekeerdgronden domineren.

Op kleinschalige kaarten, zoals de NEBO-kaart, kan de werkelijke verbreiding niet goed worden weergegeven. Vandaar dat op deze kaarten veel associaties voorkomen. Op kaarten met grotere schaal, bijv. 1:10000, zoals die van Luttenberg, ontbreken als regel associaties. Deze schaal is voldoende voor een tamelijk nauwkeurige weergave. De nauwkeurige, werkelijke verbreiding van de gleygronden vraagt een nog grotere schaal, bijv. 1:5000. Het resultaat wijkt dan evenwel niet belangrijk af van de gegevens op de 10000-kaarten.



Fig. 5. Globale verspreiding van de gleygronden in Nederland, naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200000 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a). / Distribution of the coversand gley soils in the Netherlands, from the Soil map of the Netherlands, scale 1:200000 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a).



Een grotere kaartschaal, gecombineerd met een overeenkomstig dichter waarnemingsnet schept wel de mogelijkheid tot het nauwkeuriger in kaart brengen van onderscheidingen binnen de gleygronden. De kleinschalige NEBO-kaart beperkt zijn informatie in dit opzicht voornamelijk tot de toevoegingen en de associaties. De associatie beekkleigronden (eenheid 131) bijv. omvat, voor zover het de gleygronden betreft, voornamelijk de zwaardere gleygronden; de associatie venige beekdalgronden (133) vooral de venige gleygronden.

Foto 4. Berken en eiken worden veel op de Veldpodzolgronden aangetroffen. / Plate 4. Birch and oak occur frequently on the Veld podzol soils.



Tabel 13. Oppervlakte gleygronden (ha) op vier bladen van de Bodemkaart van Nederland 1:50000. / Area of coversand gley soils (ha) on four sheets of the Soil Map of the Netherlands 1:50000.

Kaartblad Sheet	Gekarteerd Surveyed	Dekzand Coversand	Gleygronden Coversand gley soils	pZg23 <sup>1</sup>
27O Hattem	47900	30400	9900	6100
32W Amersfoort	43800	20900	10300	6200
32O Amersfoort	48700	38600	14500	10500
50W Breda	26700	26300	4100	1300

1. Sterk lemige fijnzandige Beekeerdgronden / 'Beek' earth soils, very loamy fine sand.

Bij de kartering 1:50000 wordt een groter aantal gleygronden onderscheiden (vgl. Hfdst. 3). Tabel 14 geeft daarvan een beeld, ontleend aan twee kaartbladen. Op blad 27 Oost worden 19 en op blad 32 Oost 7 kaarteenheden (inclusief toevoegingen) onderscheiden. Op beide bladen overheerst eenheid pZg23, dat zijn de sterk lemige, fijnzandige Beekeerdgronden. De eenheden pZg21, Zn21, vWz, pZn21 en pZn23 nemen een veel bescheidener plaats in. Opvallend is dat de rodoornige gleygronden in Salland plaatselijk veel voorkomen (blad 27 Oost, toevoeging f, ca. 5000 ha), in tegenstelling tot de Gelderse Vallei (blad 32 Oost). Een belangrijk verschil tussen deze twee bladen

Tabel 14. Oppervlakten (ha) van de verschillende gleygronden op twee bladen van de Bodemkaart van Nederland 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering 1966c en 1965b) / Area (ha) of different coversand gley soils on two sheets of the Soil Map of the Netherlands 1:50 000 (Stichting voor Bodemkartering, 1966c and 1965b).

	Hattem 270					Amersfoort 320		
	f...	k...	fk...	...g	k..g	geen none	totaal total	
pZg23 <sup>1</sup>	2785	35	1055	—	—	2075	5950	8580
pZg21	45	—	—	—	—	120	165	2205
Zn23	35	—	—	—	—	465	500	—
Zn21	—	565	680	—	95	95	1435	20
vWz	45	—	—	—	—	500	545	300
pZn23	—	—	—	200	—	55	255	420
pZn21	—	—	—	—	—	40	40	280
pLn5	195	—	—	—	—	30	225	—
zWz	—	—	—	—	—	—	—	15
totaal / total	3105	600	1735	200	95	3380	9115	11820

Met weglating van de gleygronden voorkomend in samengestelde kaarteenheden en in het rivierklei-gebied. / Exclusive gley soils in complex mapping units and in the river clay area.

1. Verklaring code in hoofdstuk 3. / For explanation code see Chapter 3.

en blad 50 West, Breda, is, dat op het laatste blad toevoeging x, (oude klei in de ondergrond) vrij veel voorkomt.

Op de bodemkaart van Luttenberg, schaal 1:10000, worden in totaal 20 gleygronden aangegeven, die gezamenlijk ruim 30% van de oppervlakte van het gebied uitmaken (zie tabel 15). Daarvan zijn er 4 die in belangrijke oppervlakten voorkomen, zij nemen samen 1360 ha of 24% van de oppervlakte in. Bij omzetting van de kaart in een bodemkaart, 1:50000, zou de eenheid pZg23 sterk overheersen.

De begrenzing tussen de gleygronden en de overige eenheden benadert op de bodemkaart van Luttenberg vrij goed de werkelijkheid. Voor de onderscheidingen binnen de gleygronden zijn de getrokken grenzen minder in overeenstemming met de werkelijke toestand. Het opvoeren van de nauwkeurigheid in dit opzicht vraagt in de eerste plaats een vergrote waarnemingsdichtheid, en in de tweede plaats een vergroting van de kaartschaal. Dit hangt samen met de landschappelijke ligging en met de genese van de gronden. De morfologische verschillen tussen de gleygronden en de podzolen zijn grotendeels het gevolg van bodemvormende processen, die in de beekdalen anders verlopen dan op de hogere gronden elders. Hoogteverschillen en hiermee samenhangende verschillen in de vegetatie geven voor het karteren duidelijke aanwijzingen. De verschillen tussen de gleygronden onderling zijn niet zo groot, het zijn vaak gradaties in textuur, organische stofgehalte en gleyverschijnselen. De informatie, die reliëf en vegetatie hierover verschaffen is minimaal, zodat, bij gelijkblijvende boringsdichtheid, de grenzen op de bodemkaarten minder nauwkeurig zijn.

Tabel 15. Oppervlakte van de verschillende gleygronden (ha) op de bodemkaart van Luttenberg 1:10000 (Buitenhuis et al., 1962). / Area of coversand gley soils on the soil map of Luttenberg 1:10000 (Buitenhuis et al., 1962).

Kaarteenheid Mapping unit	Oppervlakte Area	%
aZn34	2	0,1
Gn15	5	0,1
Gn34*	627	10,9
Gn53*	374	6,5
Gn72	45	0,9
Zn15	20	0,5
Zn34*	138	2,4
Zn53	8	0,1
cGn34	12	0,2
cGn53	72	1,2
cZn34	3	0,1
cZn53	2	0,1
vGn34	66	1,2
vGn53	40	0,7
vGn72	26	0,5
vZn34	30	0,5
BK1*	220	4,0
vBK1	50	0,8
BK2	28	0,3
vBK2	10	0,2
subtotaal*	1359	23,8
totaal	1778	31,3

\* = meest voorkomende gleygronden / prevailing gley soils.

### 4.3 Reliëf

#### 4.3.1 Inleiding

Het huidige reliëf van Salland is vooral het gevolg van de geologische ontstaanswijze. Er is een toenemende invloed van de mens op het reliëf in de vorm van ophogingen, afgravingen en egalisaties. In het volgende laten we dit laatste buiten beschouwing.

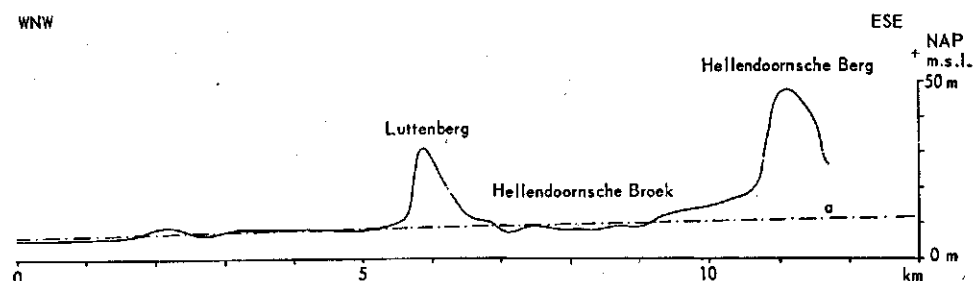
Er bestaat geen rechtstreeks verband tussen reliëf enerzijds en bijv. bodemvorming en bodemgeschiktheid anderzijds. Wel is er een indirecte relatie in deze zin, dat het reliëf mede het gedrag van het grondwater bepaalt, terwijl het grondwater weer van invloed is op de bodemgesteldheid.

#### 4.3.2 Macroreliëf

Het macroreliëf, waaronder wordt verstaan het complex van hoogteverschillen in de orde van grootte van enkele meters tot enkele tientallen meters, wordt in Salland bepaald door de stuwwallen die tot omstreeks 70 m +NAP reiken en het lage, betrekkelijk vlakke dekzandgebied ten westen daarvan, dat tussen ongeveer 0 en 10 m +NAP ligt. Dit is op kleinschalige kaarten goed weer te geven (fig. 1), evenals in dwarsprofielen met een kleine horizontale schaal (fig. 6). De vele hoogteverschillen van kleinere omvang op de stuwwallen en in de vlakkere tussenliggende gebieden komen hierin echter niet tot uitdrukking. De relatief grote hoogte van de stuwwallen heeft voor de gleygronden in zoverre betekenis, dat op de heuvels geen zichtbare afwatering voorkomt en het neerslagoverschot van de stuwwallen bij kan dragen tot de ondergrondse watertoevoer naar de gleygronden. Vele beekdalen beginnen dan ook aan de voet van de stuwwallen, waar verschillende broeken, onder andere het Hellendoornsche Broek, liggen.

Het relatief vlakke dekzandgebied van Salland heeft een geleidelijke helling van ongeveer 50 cm/km met een noordwestelijke richting. De hoogste punten liggen in het zuidoosten op ongeveer 10 m +NAP, de laagste in het noordwesten, op ca. NAP. De grootte en de richting van de gemiddelde terreinhelling in Salland komt ongeveer overeen met die van de gemiddelde helling van het freatische niveau. In andere dekzandgebieden van Nederland is de helling van het maaiveld ongeveer even groot, maar de richting soms geheel afwijkend van die in Salland.

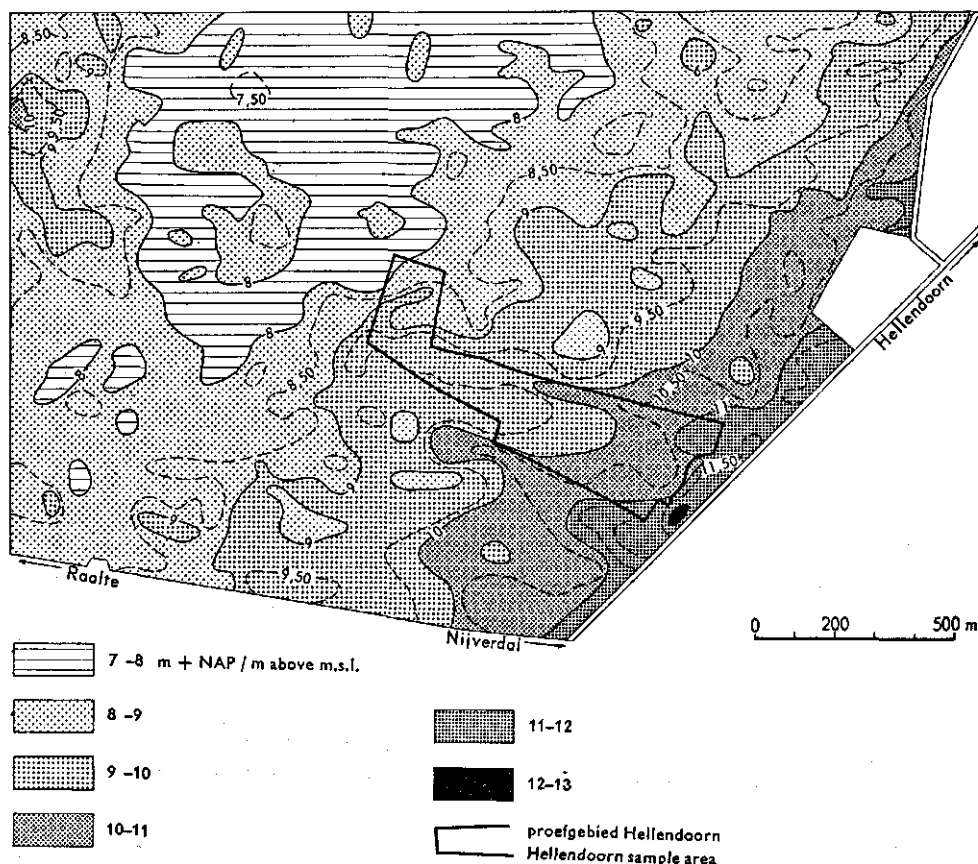
Fig. 6. Ligging van het maaiveld en de gemiddelde terreinhelling ( $a = 50$  cm per km) in een doorsnede door Salland. / Land surface and average slope of land surface ( $a = 50$  cm per km) in Salland.



#### 4.3.3 Microreliëf

Het microreliëf omvat het complex van hoogteverschillen in de orde van grootte van enkele decimeters tot hoogstens enkele meters over korte afstanden, bijv. van 10 tot 100 m. De weergave ervan vereist in Salland kaarten op een schaal van ten minste 1:10000. Er bestaan dergelijke kaarten, die de hoogtelijnen als regel met intervallen van 50 cm en in grotere, vlakke delen tevens van 25 cm geven (fig. 7).

Fig. 7. Hoogtekaart van het zuidelijke deel van het Hellendoornsche Broek, naar een opname van de Kon. Ned. Heidemij. / Contour map of the southern part of the Hellendoornsche Broek, from a survey by Kon. Ned. Heidemij.



Het gebied omvat, in veel herhalingen, een grote variatie aan reliëfvormen. Er komen langgerekte ruggen, geïsoleerd liggende hogere punten, grote lage plateau's, smalle lange dalen, brede lage vlakten en afzonderlijk liggende kleine laagten voor (foto 5 en 6). Omdat de hoogten en laagten elkaar snel opvolgen, wordt van een onrustig microreliëf gesproken. Dit wordt vooral in het midden en westen van het gebied aangetroffen. In het oosten van Salland liggen enkele vlakten met een opmerkelijk zwak microreliëf. Ten zuidwesten van Lettele bedraagt het hoogteverschil tussen De Enk en de Orteler Enk enerzijds en het dal van de daartussen gelegen Zandwetering anderzijds 3 à 4 m. Dergelijke hoogteverschillen, die ook bij Heeten (ruim 3 m) en bij Pleegste (4 m) over afstanden van enkele honderden meters worden aangetroffen, behoren tot de uitzonderingen en kunnen nauwelijks nog tot het microreliëf worden gerekend.

Het fragment van de hoogtekaart van Salland, schaal 1:10000, weergegeven in

Foto 5. Het microreliëf van de dekzandgebieden bestaat vaak uit kleine kopjes en ruggen, die enkele decimeters tot één meter boven de omgeving uitsteken. / Plate 5. Microrelief of the coversand areas often consists of hummocks and small ridges, lying a few decimetres to a meter above the surroundings.



Foto 6. Microreliëf. Rechts gleygronden, links een oud bouwland. / Plate 6. Microrelief. Right cover-sand gley soils, left old arable field.



fig. 7, omvat de omgeving van het proefgebied Hellendoorn, gelegen aan de rand van het Hellendoornsche Broek. Dit Broek is een laagte, ingesloten door de stuwwal van Holten-Hellendoorn in het oosten en die van Luttenberg met de daarbij in het zuiden aansluitende minder hoge gronden, in het westen. Het dal van het Hellendoornsche Broek helt naar het noorden; er komt een groot aantal kleine kopjes en laagtes in voor, die typerend zijn voor de dekzandgebieden. Het karakteristieke ruggenpatroon van grote delen van de dekzandgebieden komt hier weinig tot uitdrukking. Wel liggen er ter plaatse van het proefgebied twee korte oost-west verlopende ruggen met daartussen een laagte. De huidige afwatering verloopt naar het westen, oorspronkelijk evenwel was deze meer naar het noordwesten gericht, zoals blijkt uit de bodemkaart van Hellendoorn (fig. 3) wanneer we het oude bouwlanddek wegdenken. Het proefgebied helt, over een afstand van 900 m, van 11 m in het oosten tot 8 m + NAP in het westen. Deze helling, overeenkomend met ca. 330 cm/km, is aanzienlijk groter dan over het algemeen in Salland het geval is. De oorzaak hiervan zal zijn, dat het gebied het begin van een beekdal omvat en het bovendien aan de voet van een stuwwal ligt.

Het microreliëf van de omgeving van het proefgebied Vloedgraven wordt vooral gekarakteriseerd door de oost-west verlopende ruggen en dalen. Behalve uit de hoogtekarten blijkt dit patroon ook fraai uit de bodemkaarten (bijv. Hattem-Oost, Stichting voor Bodemkartering, 1966c) en uit de grondwatertrappenkaarten (bijv. fig. 23).

De gedetailleerde hoogtekaart van het proefgebied Vloedgraven (fig. 8) geeft te zien dat het reliëf van het gebied bestaat uit een oost-west gerichte laagte, geflankeerd door hogere gronden. Dit dal begint in het zuidoosten van het gebied en heeft in het westen aansluiting op het dal van het beekje de Vloedgraven. De westelijke helling van het dal bedraagt, afgezien van een klein kopje, 40 cm over 200 m afstand, dat is 200 cm/km (fig. 9). Dit meer dan normale verhang wordt ook hier veroorzaakt doordat het het begin van een beekdal betreft. Loodrecht op de richting van het dal kunnen de hellingen aanzienlijk zijn, tot 4000 cm/km (fig. 9). Het zijn vooral deze korte, steile hellingen, die het karakter van het microreliëf bepalen (zie ook fig. 26).

Het onderscheid tussen de absolute of topografische en de relatieve of bodemkundige hoogteligging blijkt uit de vergelijking van hoogtekarten met bodemkaarten. In het zuidoosten van Salland liggen op ca. 10 m + NAP gleygronden, die even nat zijn en dezelfde landbouwkundige betekenis hebben als soortgelijke gleygronden in het noordwesten van het gebied, die ongeveer op NAP liggen. Gezien nu de overeenkomst tussen de algemene helling van het maaiveld en die van het grondwaterniveau zou men een daarmee overeenkomend vlak, dat dus onder een geringe hoek met het NAP-vlak ligt, kunnen vaststellen en hanteren als referentieniveau voor de hoogteligging. Omdat evenwel de helling van het maaiveld en van het freatische vlak slechts door gemiddelde cijfers worden bepaald, zullen er op deze wijze veel gegevens worden verstrekt, die belangrijk afwijken van de werkelijk aanwezige plaatselijke toestand. Bovendien is het freatische vlak onderhevig aan schommelingen, die naar tijd en plaats verschillend zijn. Bij de bodemkartering, waarbij het verstrekken van de juiste plaatselijke informatie van groot belang is, geeft men er daarom de voorkeur aan om de hoogteligging steeds ter plaatse vast te stellen en die volgens een bepaald systeem uit



Fig. 8. Proefgebied Vloedgraven, hoogtekaart. / Vloedgraven sample area, contour map.

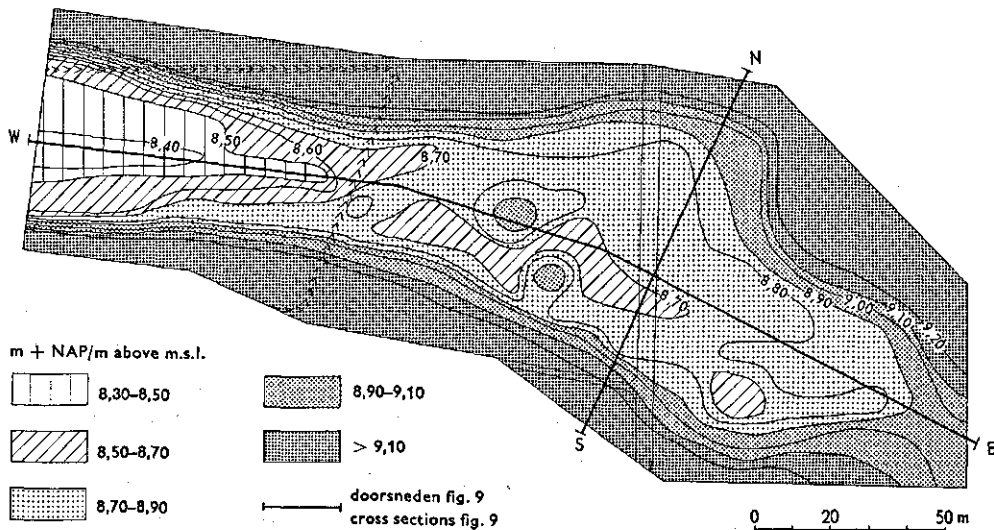
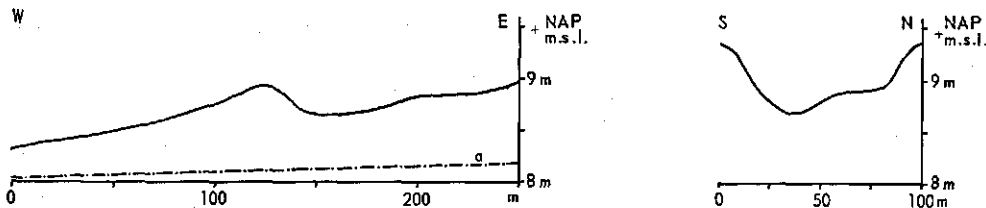


Fig. 9. Ligging van het maaiveld in het proefgebied Vloedgraven en de gemiddelde terreinhelling in Salland (a). Voor ligging der doorsneden zie fig. 8. / Land surface in the Vloedgraven sample area and average slope of land surface (a) in Salland. For position of the cross sections see fig. 8.



te drukken ten opzichte van de ligging van het grondwaterniveau. Gronden met diepe grondwaterstanden worden hoog genoemd, gronden met ondiepe grondwaterstanden laag. Dit is uitgewerkt tot de grondwatertrappenkartering (par. 5.3) waarin de ligging van de grondwaterspiegel wordt aangegeven ten opzichte van het maaiveld. Op deze wijze wordt dus de bodemkundige hoogteligging – het bodemkundig microreliëf – in kaart gebracht.

In fig. 23 is voor het zuidelijke deel van Salland de grondwatertrappenkaart gereproduceerd. De grondwatertrappenkaart van Hellendoorn (fig. 24) toont het bodemkundige microreliëf van dit gebied, hetgeen duidelijk verschillend is van het absolute microreliëf, weergegeven in fig. 7.

Informatie over het microreliëf van Salland komt ook voor op de geomorfologische kaart van dat gebied, ontleend aan Van den Akker, Knibbe & Maarleveld, 1964 (fig. 38). Deze kaart is vooral gebaseerd op uitgebreide landschappelijke verkenningen en veel minder op meetbare gegevens.

## 4.4 Verspreidingspatronen

### 4.4.1 Inleiding

De gleygronden liggen in het landschap verspreid volgens bepaalde patronen, waarvan het gemeenschappelijk kenmerk is, dat ze fluviatiel zijn. Kennelijk gaat het hier om de bron- en stroomgebieden van de beekjes en kleine rivieren.

Op de NEBO-kaart is dit fluviatiele patroon duidelijk te zien, evenals op fig. 10, een sterk verkleinde en vereenvoudigde bodemkaart van Salland, en op de bodemkaart Hattem-Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c).

Wanneer men bij de kartering poogt het fluviatiele patroon aan te geven, blijken er meestal wel oppervlakten gleygronden voor te komen die niet bij de overige gleygronden aansluiten. De oorzaak is soms dat een stuk van het beekdal, dat oorspronkelijk de aansluiting vormde, begraven werd onder een oudbouwlanddek. Een voorbeeld is het beekdal van het proefgebied Hellendoorn waarvan het westelijke deel, dat onder een oudbouwlanddek ligt, eerst door intensief karteren kon worden teruggevonden (fig. 3). Ook in Noord-Brabant komen dergelijke begraven beekdalen voor.

Soms dateert de oorzaak van de afwijkingen van het ideale patroon uit het Laat-glaciaal. De beekdalen in het gebied ten noorden van Raalte hebben een noordwestelijke richting die bij de rug ten zuiden van Heino evenwel abrupt overgaat in een westelijke (fig. 10). Hieruit kan worden afgeleid, dat de beken aanvankelijk naar het noordwesten stroomden, later door pleistocene zandverstuivingen werden geblokkeerd en naar het westen afbogen.

### 4.4.2 Globale verspreidingspatronen

Er kunnen drie globale verspreidingspatronen worden onderscheiden, betrekking hebbend op Drente, Overijssel en Noord-Brabant en afgeleid van de NEBO-kaart.

In Drente en Friesland wordt het landschap bepaald door een keileemplateau waarvan dalen (madelanden) voorkomen. De bodem daarvan bestaat voor een groot deel uit veengronden en verder onder andere uit venige gleygronden. Het patroon van de madelanden duidt erop dat zij door insnijding van de beken in het keileemplateau zijn ontstaan (Van Heuveln, 1965). In fig. 11 wordt getoond hoe de verschillende zij- en hoofddalen zich verenigen tot één groot breed dal, dat ten zuiden van Coevorden op het dal van de Vecht aansluit.

Het gebied ten noordoosten van Deventer (fig. 12), waar de gleygronden in een aantal beekdalen aansluiten op de gronden langs de IJssel (Ente, Haans & Knibbe, 1965), kunnen we beschouwen als een plateau, bestaande uit dekzand, waarin een aantal dalen zijn uitgeschuurd. Het reliëf van het plateau werd versterkt door het ontstaan van diverse dekzandruggen. In sommige gevallen zijn de beekdalen afzonderlijk aangegeven, in andere gevallen moest, gezien de kaartschaal en de ingewikkeldheid van het landschap, worden volstaan met het aangeven van samengestelde kaarteenheden.

In Noord-Brabant, bijv. ten oosten van Tilburg (fig. 13), worden de beekjes vaak

Fig 10. Verspreiding van de gleygronden in Salland, vereenvoudigd naar de bodemkaart 1:50000 (Knibbe, 1957). / Distribution of the coversand gley soils in Salland simplified from the soil map 1:50000 (Knibbe, 1957).

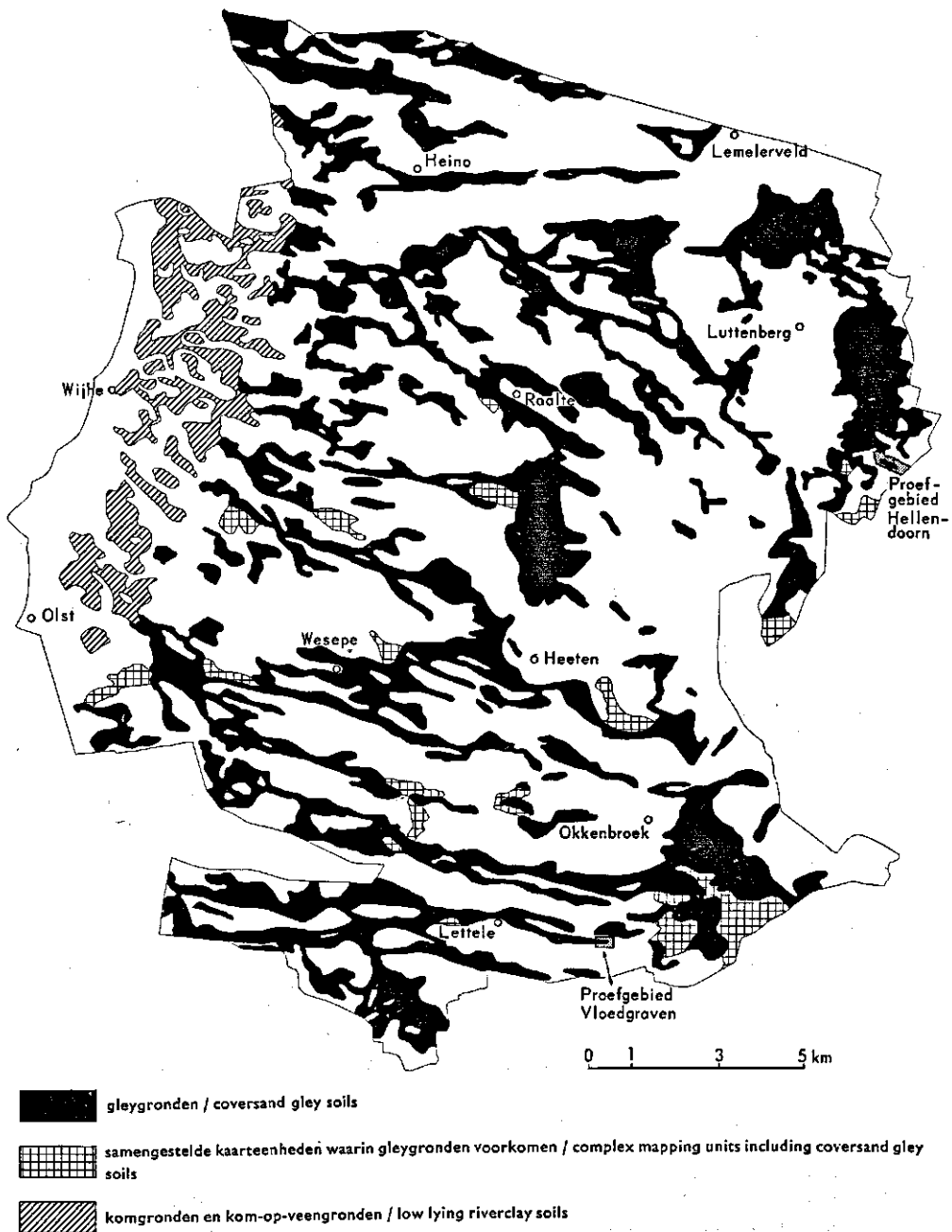
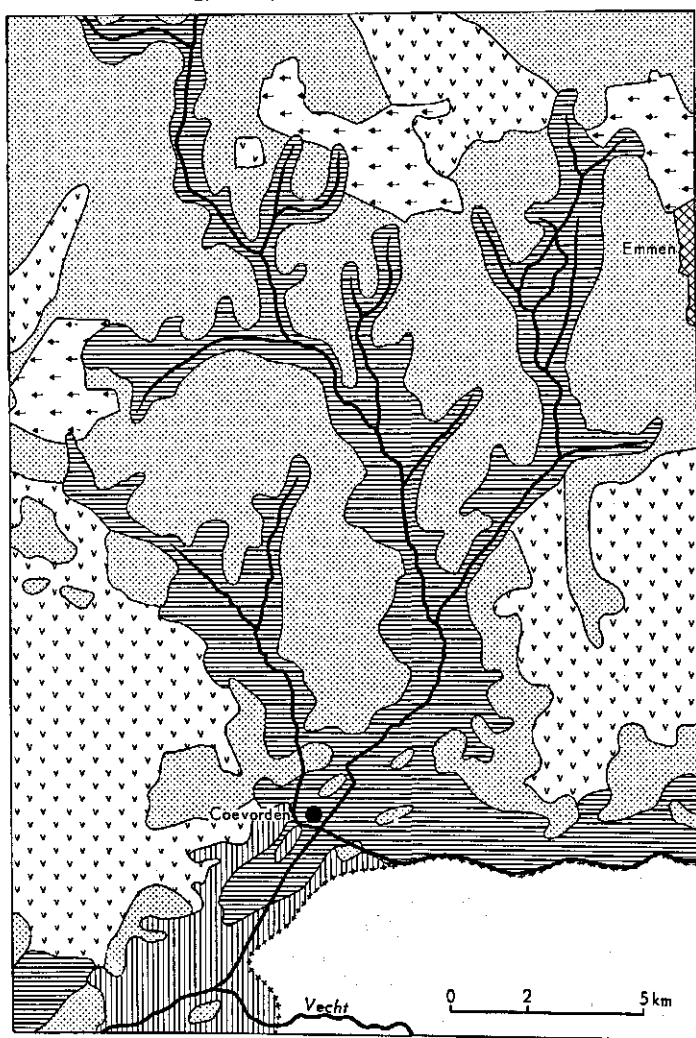


Fig. 11. Globaal verspreidingspatroon van de gleygronden in Drente, naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200000, blad 1 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a). / Distribution of the gley soils in the Province of Drente, from the Soil map of the Netherlands, scale 1:200000, sheet 1 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a).








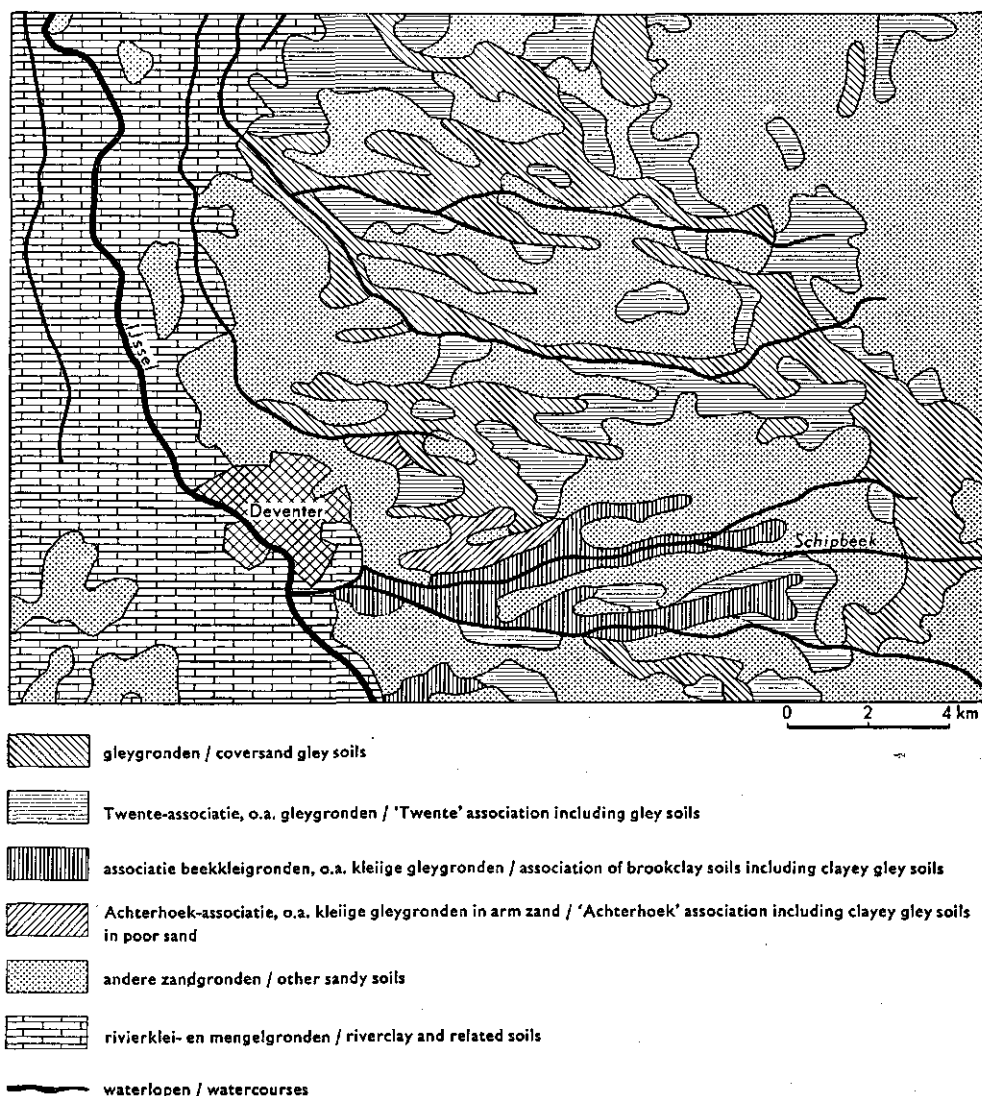
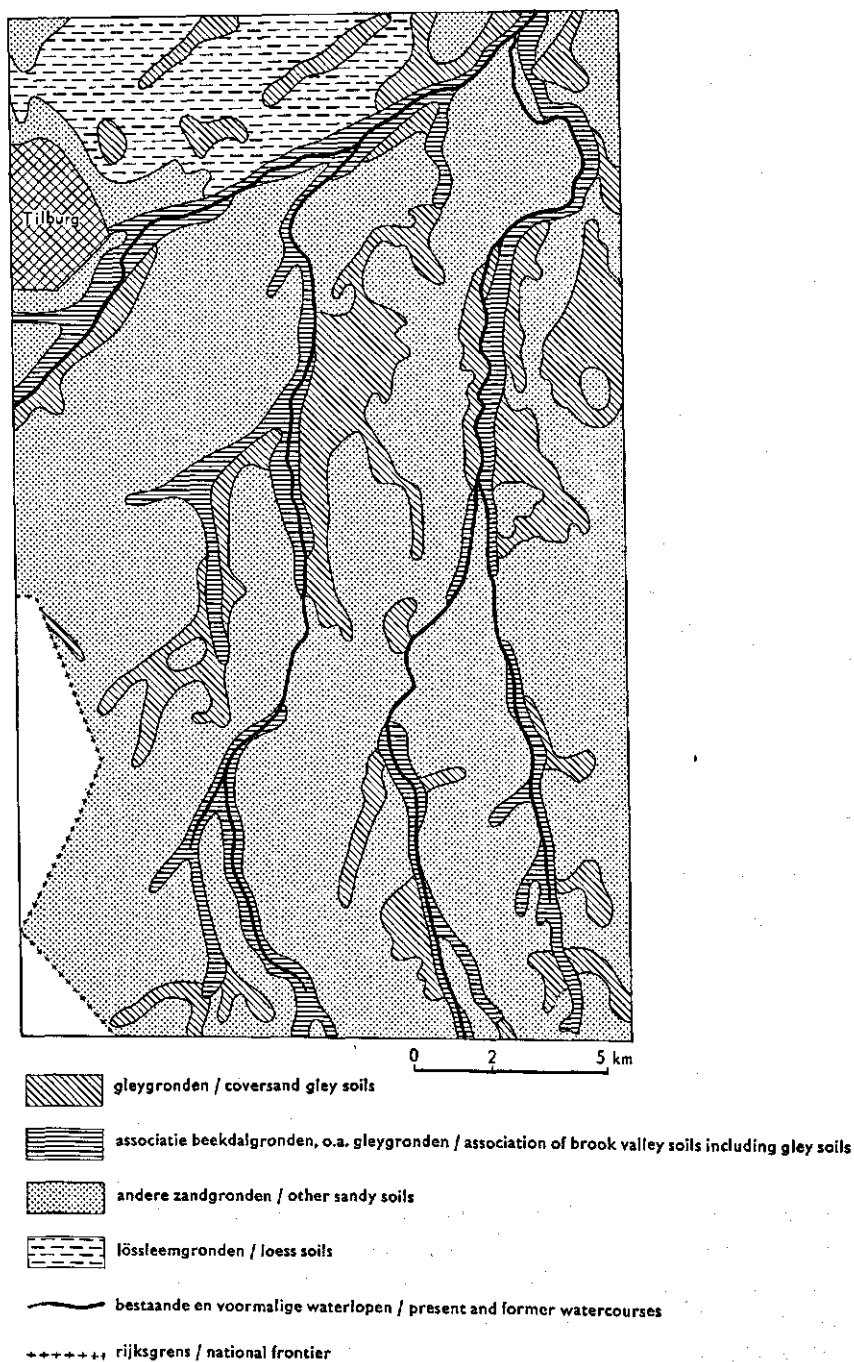
-  associatie venige beekdalgronden, o.a. venige gleygronden / association of peaty brook valley soils including peaty gley soils
-  associatie beekkleigronden, o.a. kleige gleygronden / association of brookclay soils including clayey gley soils
-  andere zandgronden / other sandy soils
-  veen- en veenontginningsgronden / peat and peat reclamation soils
-  vergraven gronden / disturbed soils
- +++++ rijksgrens / national frontier
- bestaande en voormalige waterlopen / present and former watercourses

Fig. 12. Globaal verspreidingspatroon van de gleygronden in Salland, naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200000, blad 3 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a). / Distribution of the gley soils in Salland, from the Soil map of the Netherlands, scale 1:200000, sheet 3 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a).



door een smalle strook gleygronden begeleid. Uitgestrekter gebieden met gleygronden worden ook tamelijk veel aangetroffen, bijv. ten zuidoosten van 's Hertogenbosch. Het verspreidingspatroon van de gleygronden bij Tilburg vertoont grote overeenkomst met dat bij Deventer en Coevorden, zoals blijkt wanneer men de drie figuren in stroomafwaartse richting bekijkt.

Fig. 13. Globaal verspreidingspatroon van de gleygronden in Noord-Brabant, naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200000, blad 8 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a). / Distribution of the gley soils in the Province of Noord-Brabant, from the Soil map of the Netherlands, scale 1:200000, sheet 8 (Stichting voor Bodemkartering, 1965a).

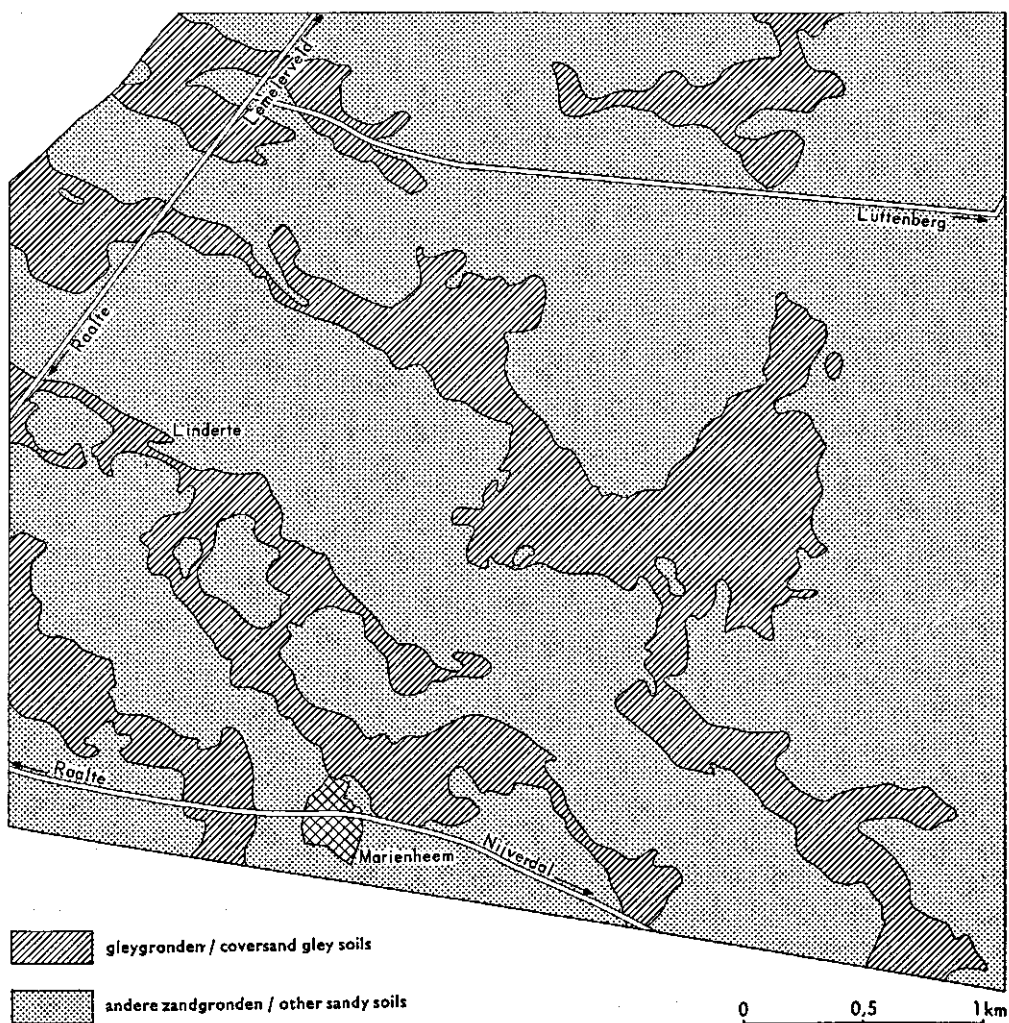


#### 4.4.3 Gedetailleerde verspreidingspatronen

Deze patronen zijn ontleend aan bodemkaarten, schaal 1:10000, waarbij legenda en kaartbeeld sterk werden vereenvoudigd, zonder evenwel de grenzen tussen humus-podzolen en gleygronden te veranderen.

Het eerste voorbeeld (fig. 14) heeft betrekking op een aantal smalle, langgerekte beekdalen die van elkaar gescheiden zijn door iets hoger liggende zandgronden. In de beekdalen komen vrijwel uitsluitend gleygronden voor. Dergelijke beekdalen zijn

Fig. 14. Gedetailleerd verspreidingspatroon van de gleygronden bij Linderte (vereenvoudigd naar Buitenhuis et al., 1962). / Detailed pattern of coversand gley soils near Linderte (simplified from Buitenhuis et al., 1962). The soils of the brook valleys consist almost exclusively of coversand gley soils.



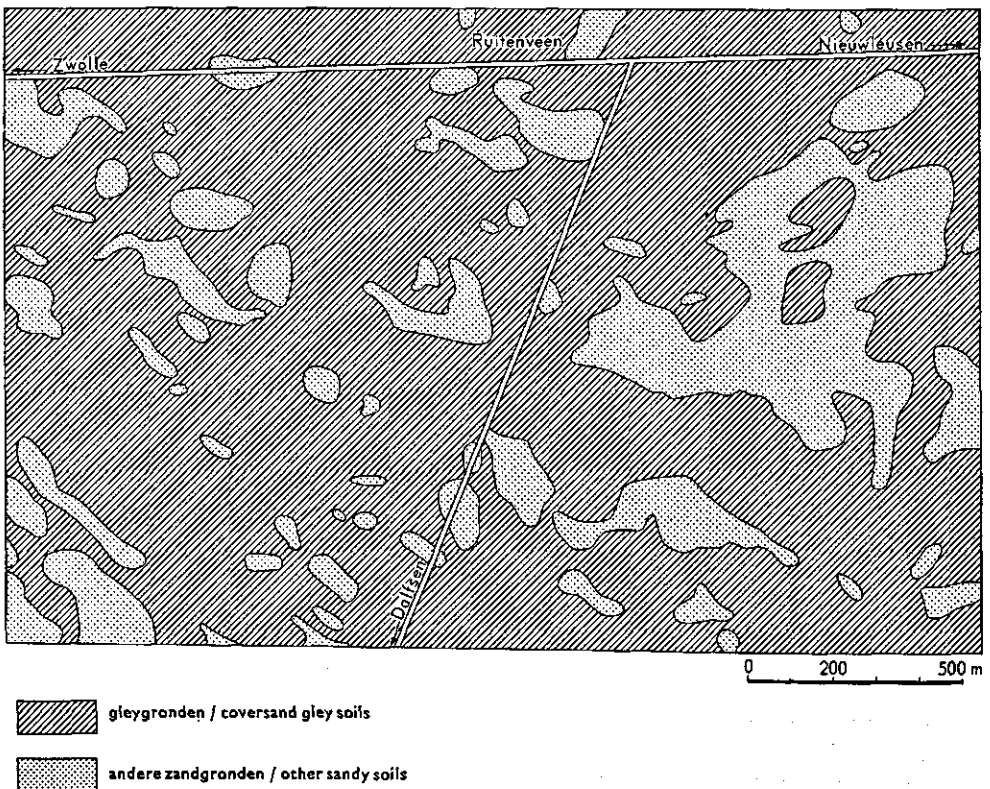
karacteristiek voor het midden van Salland en komen ook elders in het land voor. Dit type beekdal wordt zowel bij de oorsprong van de beken als verder stroomafwaarts aangetroffen.

Het volgende patroon is dat van een brede vlakke laagte, die grotendeels uit gleygronden bestaat en waarin een groot aantal kleine geïsoleerde kopjes voorkomt (fig. 15). Op de kopjes, die dikwijls slechts een klein deel van de totale oppervlakte uitmaken, komen meestal humuspodzolen voor. Soms bestaan de kopjes uit oude bouwlanden, zoals bij de Twente-associatie van de NEBO-kaart.

Evenals de tweede vorm bestaat de derde vorm van een gedetailleerd verspreidingspatroon uit een brede vlakke laagte, waarin evenwel vrijwel uitsluitend gleygronden voorkomen (fig. 16). Het weergegeven gebied omvat ongeveer 200 ha gleygronden. Het derde patroon komt ook voor in het gebied ten noordwesten van Dalfsen (Schelling, 1953).

De drie besproken voorbeelden vertonen onderling vrij grote verschillen, waartussen

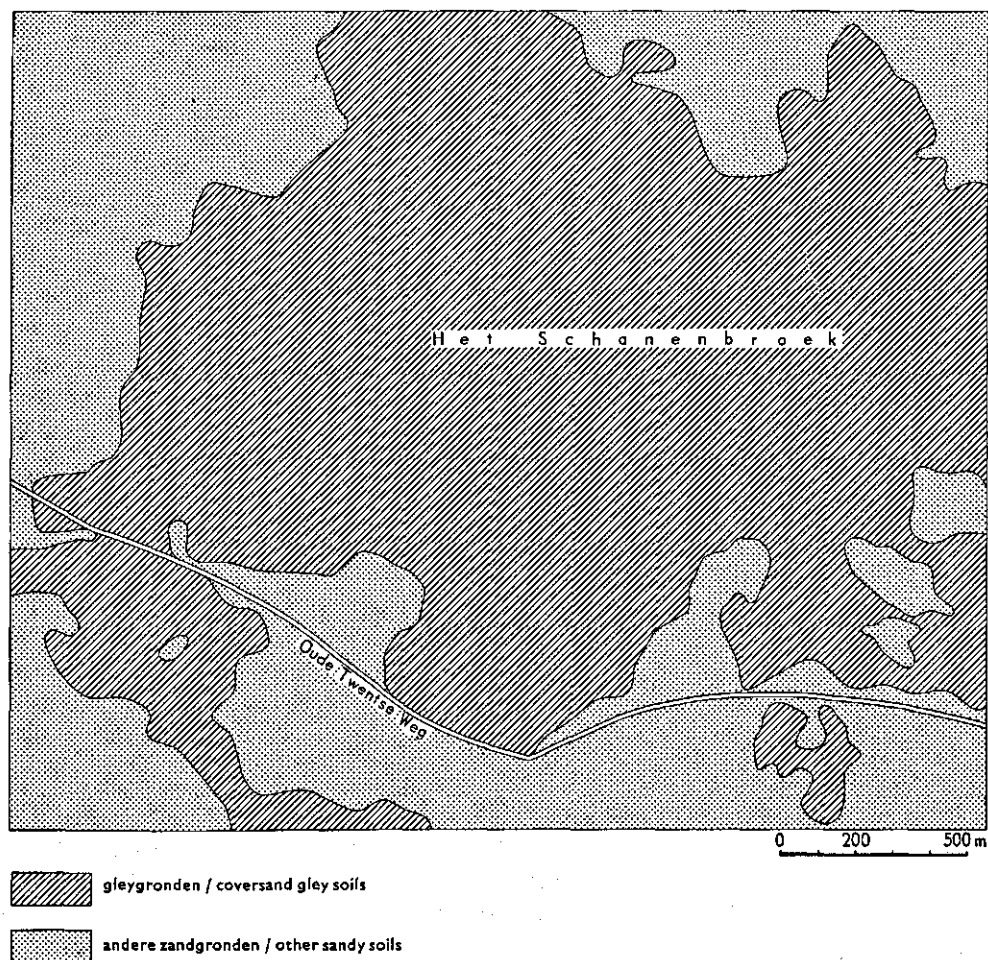
Fig. 15. Gedetailleerd verspreidingspatroon van de gleygronden in het gebied Ommen-Dalfsen (vereenvoudigd naar Schelling, 1953). / Detailed pattern of the coversand gley soils in the Ommen-Dalfsen area (simplified from Schelling, 1953). Isolated areas mainly consisting of humuspodzol soils are lying in a matrix of gley soils.





nog allerlei overgangsvormen voorkomen. Zij geven een vrij nauwkeurig beeld van de werkelijke verspreiding van de gleygronden.

Fig. 16. Gedetailleerd verspreidingspatroon van de gleygronden in het Schanenbroek (vereenvoudigd naar Buitenhuis et al., 1962). / Detailed pattern of the coversand gley soils in the Schanenbroek (simplified from Buitenhuis et al., 1962). The central plain consists almost exclusively of coversand gley soils.



#### 4.5 Verspreiding van de verschillende gleygronden

Over de verbreiding van de verschillende gleygronden kan in het kort het volgende worden opgemerkt.

Van alle gleygronden komen de Zwarte Beekeerdgronden het meest voor. Dit geldt voor alle landschappen met gleygronden in Nederland, met uitzondering van onder andere de madelanden in Drente waar Broekeerdgronden, en de gronden langs de kleine rivieren, waar Vlakvaag- of Poldervaaggronden in de meerderheid zijn. Langs de oostelijke stuwwal van de Veluwe en op de horsten in Brabant hebben de gronden vaak enige bijmenging van grind. Vooral in Brabant, maar ook wel bij Luttenberg en in Drente komen zandige leemlagen in het profiel voor. Vooral in de Gelderse Vallei en in Brabant, maar ook plaatselijk in Overijssel, hebben de gronden een ongeveer 40 cm dikke humeuze bovengrond.

De Bruine Beekeerdgronden zijn in de Gelderse Vallei vooral gebonden aan de nabijheid van de beken en hebben een iets hogere ligging dan de Zwarte Beekeerdgronden (Stichting voor Bodemkartering, 1965b).

Er komen slechts weinig Gooreerdgronden voor. Ze vormen dikwijls een smalle overgangsstrook tussen lage Veldpodzolgronden en Beekeerdgronden of tussen Beekeerd- en Broekeerdgronden. Slechts zelden liggen ze in grote aaneengesloten oppervlakten, zoals bij Nijkerkerveen (Stichting voor Bodemkartering, 1965b).

De Broekeerdgronden (venige gleygronden) komen onder andere in de madelanden voor. Ze liggen vaak als lage komvormige gedeelten temidden van Beekeerdgronden. Soms ook grenzen ze aan de Veldpodzolgronden. Hun totale oppervlakte is waarschijnlijk niet groot.

Er zijn weinig gleygronden, die een voldoende hoog leemgehalte in de bovengrond bezitten om als Leekeerdgrond te kunnen worden aangemerkt. In Salland (Stichting voor Bodemkartering, 1966c) werden ze enkele malen ten noordoosten van Deventer aangetroffen.

De Vlakvaaggronden liggen in Salland onder andere op de overgang naar de rivierkleigronden, waar ze overwegend plaatselijk rodoornig zijn en een kleidek hebben (toevoegingen f en k).

Over de oppervlakte gleygronden die tot de Poldervaaggronden zal worden gerekend valt bij de huidige stand van de systematische kartering 1:50000 nog weinig te zeggen. Het zijn de zwaardere gleygronden, vroeger beekkleigronden genoemd, die vooral langs grotere beken en kleine rivieren zoals de Vecht, de Regge en de Berkel voorkomen.

De rodoornige gleygronden worden vooral in het oostelijke zandgebied van Nederland gevonden. In Salland komt de toevoeging f, dat wil zeggen plaatselijk rodoornig, zeer veel voor. Het verschijnsel is typisch plaatselijk, zodat zelden aaneengesloten oppervlakten rodoornige gronden worden aangetroffen.

## 5 Hydrologie

### 5.1 Inleiding

De gleygronden in Salland zijn laag gelegen, natte gronden, die oorspronkelijk in een zeer slechte ontwateringstoestand verkeerden. Langdurige inundaties waren een jaarlijks terugkerend verschijnsel. Ondanks de aanzienlijke verbeteringen die in de laatste eeuwen zijn aangebracht, zijn de grondwaterstanden in natte perioden soms nog te hoog voor een goede graslandexploitatie. De bodemvorming is in sterke mate door de hoge grondwaterstanden beïnvloed. Het verschil in bodemvorming tussen gleygronden en humuspodzolen wordt vooral bepaald door verschillen in de stroming van het grondwater. De graslanden op de gleygronden verdrogen in regenarme perioden betrekkelijk weinig, hetgeen behalve met de hoge grondwaterstand ook verband houdt met het vrij goede vochthoudende vermogen.

### 5.2 Afwatering

Het tot voor kort functionerende hoofdafwateringssysteem van Salland is in fig. 17 weergegeven. Het bestaat uit een aantal beken, die op enige afstand van de voet van de Sallandse heuvels ontspringen en over het algemeen eerst naar het westen en vervolgens naar het noorden stromen. De beken hebben smalle en langgerekte afwateringsgebieden. Zij volgen over dikwijls grote afstanden de smalle dalen, soms ook verspringen zij, dwz. ze breken door een dekzandrug en vervolgen hun loop door een ander dal. Dit is kennelijk vaak het gevolg van menselijk ingrijpen. Vrijwel overal zijn de beken gekanaliseerd. Ze worden wetering, waterleiding, leiding, leide of graven genoemd. Stroomafwaarts voegen de beekjes zich geleidelijk samen tot de vier Sallandse weteringen: Zandwetering, Soestwetering, Oude Wetering en Nieuwe Wetering. Deze voeren het water door de komgebieden langs de IJssel naar het noorden, waar de eerste drie uitmonden in de Nieuwe Wetering, waarna het water via de stadsgrachten van Zwolle naar het Zwarte Water wordt afgevoerd. De afwatering is als gevolg van het vrij grote verhang vrijwel geheel natuurlijk, slechts in de noordwestelijke komgebieden komt bemaling voor. Buizendrainage wordt nergens toegepast.

Waarschijnlijk sloten de beken vroeger rechtstreeks op de IJssel aan, zoals dat nu nog ten zuiden van Salland met de Berkel en de Schipbeek het geval is. De namen Randerzijl ten noorden van Deventer en Windesheimerzijl ten zuiden van Zwolle wijzen hierop (Fockema Andreae, 1950). De hogere standen van de Zuiderzee en de opbouw van de oeverwallen van de IJssel o.a. omstreeks het einde van de middeleeuwen,

Fig. 17. Afwateringspatroon van Salland vóór de verbeteringswerken. / Drainage pattern of Salland before recent improvements.

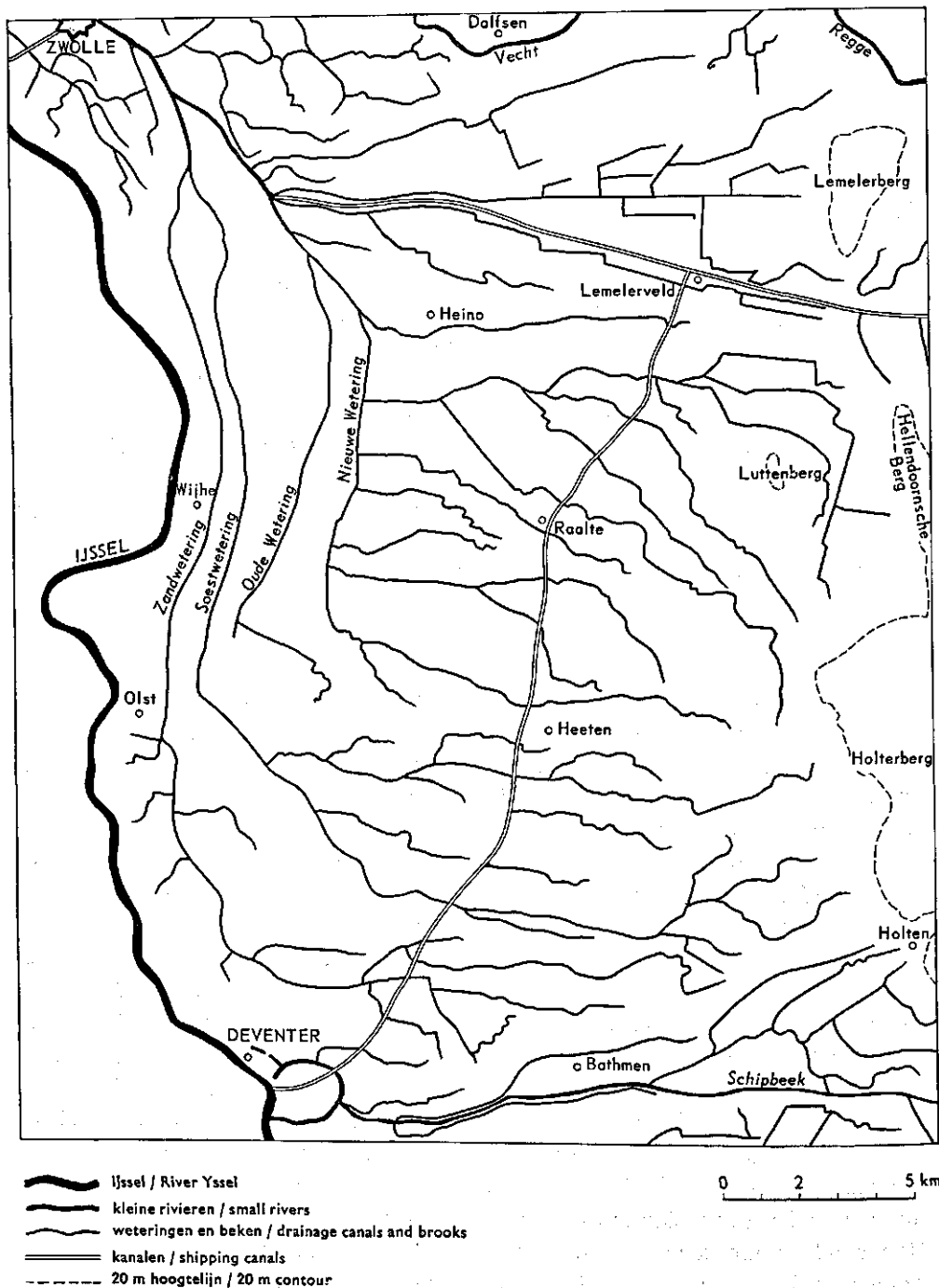
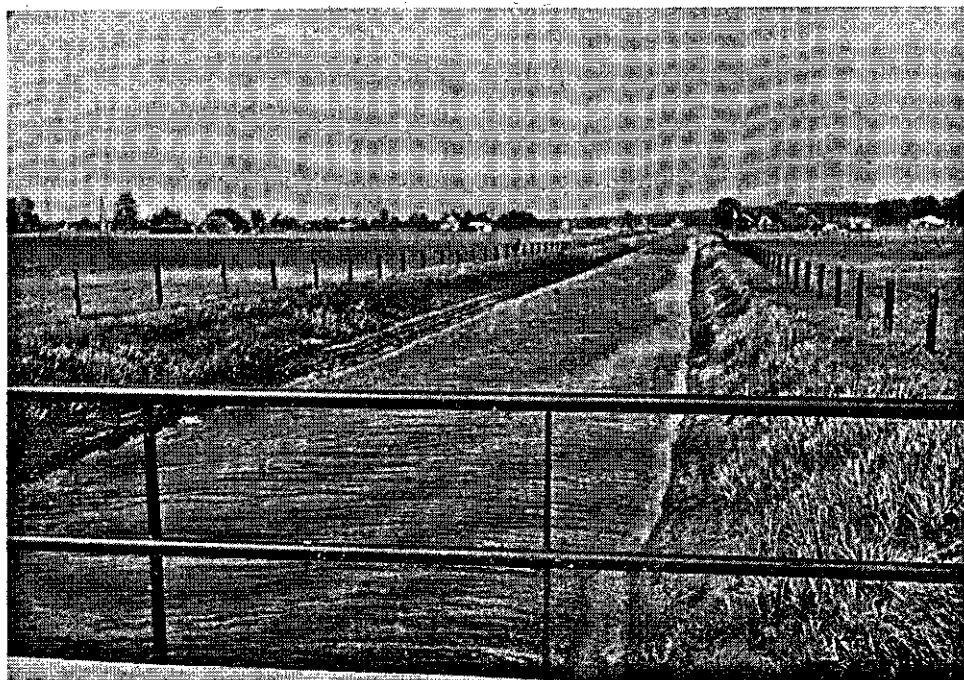


Foto 7. Wateroverlast ten zuiden van Lemelerveld door gebrekkige afvoer. / Plate 7. Flooding south of Lemelerveld in Salland through inadequate capacity of brooks and canals.



Foto 8. Nieuw ontwateringskanaal van het Hellendoornsche Broek en het Schanenbroek. / Plate 8. New canal draining the Hellendoornsche Broek and the Schanenbroek.



maakten een afvoer naar de rivier moeilijker. Door vier weteringen evenwijdig aan de IJssel te graven en ze op het Zwarte Water aan te sluiten poogde men een goede afwatering te houden. Soortgelijke situaties worden ook in andere delen van het land aangetroffen, zoals in het oostelijke lage deel van de Veluwe en in de Gelderse Vallei.

In de boven beschreven afwateringstoestand van Salland worden thans aanzienlijke veranderingen aangebracht, omdat niet alleen 's winters, maar ook vaak in natte zomers, ongewenst hoge grondwaterstanden en zelfs inundaties voorkwamen met alle gevolgen van dien, zoals slechte beweidbaarheid van de graslanden en verlies van de hooioogst (foto 7). De oorzaken waren o.a. de geringe breedte en diepte en de grote lengte van de beken en weteringen. Het plan voorziet o.a. in het samenvoegen van de verschillende weteringen door middel van koppelleidingen tot één grote, de Soestwetering, die op de vereiste breedte en diepte wordt gebracht. Ook worden stuwen en enkele gemalen gebouwd, worden delen van de vroegere scheepvaartkanalen van Zwolle naar Vroomshoop en van Deventer naar Lemelerveld voor de afwatering benut en worden diverse beken van een vergroot profiel voorzien (foto 8). De verbeteringswerken hebben o.a. het voorkomen van hoge grondwaterstanden in natte zomers ten doel, waarvan vooral de gleygronden zullen profiteren.

### 5.3 Grondwatertrappen

De grote betekenis van het grondwater voor de bodem heeft geleid tot veel onderzoek naar het gedrag van de grondwaterspiegel en naar de mogelijkheden tot kartering daarvan. Een landelijk onderzoek door de Stichting voor Bodemkartering resulteerde in de samenstelling van een zgn. grondwatertrappenindeling en in de systematische vervaardiging van grondwatertrappenkaarten. In het volgende wordt hiervan een overzicht, betrekking hebbend op de gleygronden, gegeven.

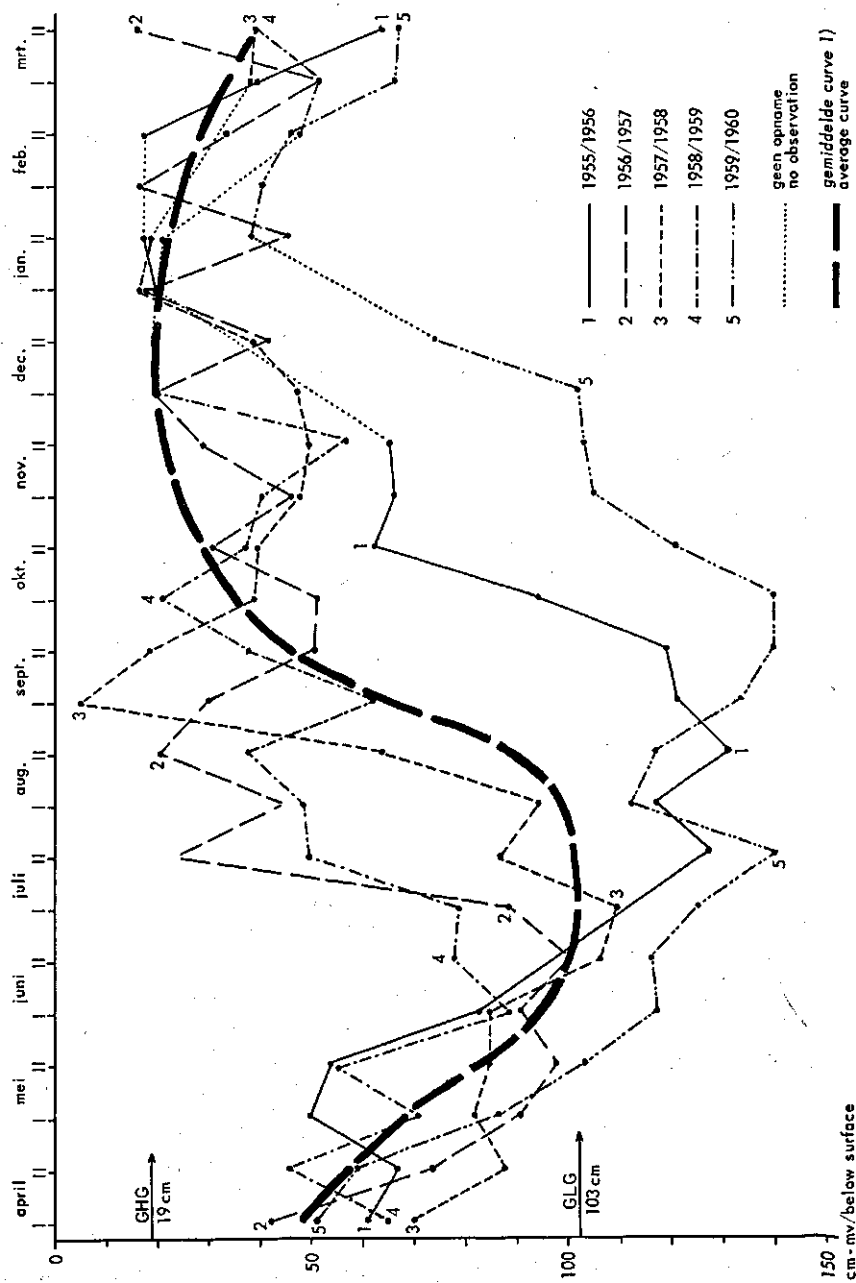
De Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO (COLN) begon in 1951 een onderzoek naar de grondwaterstanden, waartoe op vele meetpunten gegevens werden verzameld. O.a. werd gedurende vele jaren in een groot aantal grondwaterstandsbuizen één maal per veertien dagen de grondwaterstand gemeten. Het resultaat, voor zover het de provincie Overijssel betreft, is samengevat door Freeve (1958). De gegevens zijn thans onder beheer van het Archief Grondwaterstanden TNO te 's-Gravenhage en vormen het basismateriaal voor het grondwatertrappenonderzoek.

Uit de grondwaterstandsgegevens kunnen tijdstijghoogtediagrammen worden samengesteld, waaruit het gemiddelde jaarlijkse grondwaterstandsverloop kan worden afgeleid. De verkregen gemiddelde curve (fig. 18) laat zien dat de daling van het grondwaterniveau in het voorjaar geleidelijker verloopt dan de stijging in nazomer en herfst.

Het gemiddelde jaarlijkse verloop kan worden gekarakteriseerd door het hoogste en het laagste punt van de curve. Men spreekt van gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) (Haans, 1961). Op basis van de GHG en de GLG is een indeling opgesteld waarin 7 klassen, de grondwatertrappen (afgekort Gt) worden onderscheiden (fig. 19a). Deze grondwatertrappen-

Fig. 18. Verloop van de grondwaterstand van april 1955 tot april 1960 in een sterk lemige Zwarte Beekeerdgrond bij Raalte, 14-daagse waarnemingen, stambuis 339-49, naar gegevens van het Archief Grondwaterstanden TNO, Den Haag. / Watertable from April 1955 to April 1960 in a very loamy Black Beek earth soil in Salland, fortnightly observations, from data of the Archief Grondwaterstanden TNO, The Hague.

GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand / mean highest watertable  
GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand / mean lowest watertable



1 Naar gegevens van april 1955 tot november 1964 / After data of April 1955 to November 1964

Fig. 19. Grondwatertrappenindelingen. / Watertable classifications.

a. voor de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50000, tevens basisdiagram voor andere bodemkarteringen / for Soil map of the Netherlands, scale 1:50000, and base for other soil surveys

b. in kartering Luttenberg (Buitenhuis et al., 1962) / in soil survey Luttenberg (Buitenhuis et al., 1962)

c. in proefgebied Hellendoorn / in Hellendoorn sample area

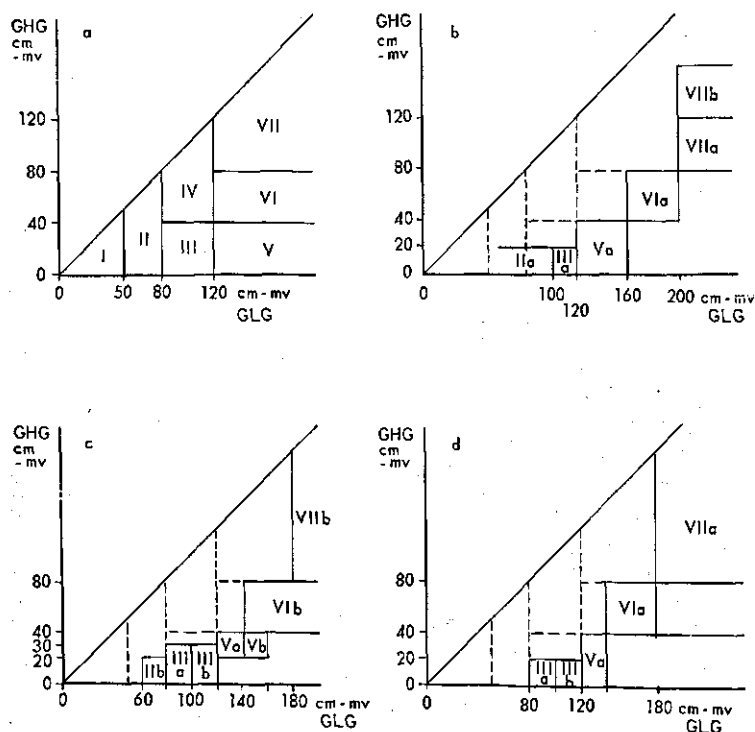
d. in proefgebied Vloedgraven / in Vloedgraven sample area

I, II, IIIa etc. = grondwatertrappen / watertable classes

GHG = gemiddeld hoogste grondwaterstand / mean highest watertable

GLG = gemiddeld laagste grondwaterstand / mean lowest watertable

cm-mv = centimetres below surface



indeling is de standaardindeling, zoals die bij de kartering op schaal 1:50000 wordt toegepast.

In andere bodemkarteringen, afhankelijk van de mogelijkheden en doelstellingen, worden de grondwatertrappen samengevat of gesplitst. Zo werden bij de kartering Luttenberg 6 grondwatertrappen gebruikt, waarvan de grenzen in hoofdlijnen op die van de standaardindeling aansluiten (fig. 19b). In de proefkarteringen Hellendoorn en Vloedgraven werden soortgelijke indelingen gehanteerd (fig. 19c en d).

Van een aantal gleygronden in Overijssel zijn in fig. 20 de gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstanden weergegeven. Daaruit blijkt, dat de gleygronden als regel een GHG tussen 0 en 40 cm en een GLG tussen 80 en 120 cm beneden maaiveld hebben, dwz. dat de Gt overwegend III is. Het ruwe gemiddelde van de GHG is 20 cm,



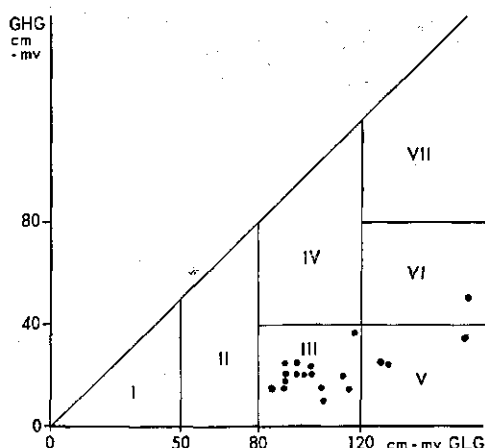


Fig. 20. Gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstanden van enkele gleygronden in Overijssel, berekend naar gegevens van het Archief van Grondwaterstanden TNO, Den Haag. / Mean highest (GHG) and lowest watertable (GLG) in coversand gley soils in Overijssel, calculated after data from the Archief Grondwaterstanden TNO, The Hague (cm - mv = centimetres below surface).

van de GLG 100 cm -mv. De gemiddelde jaarlijkse fluctuatie, dat is het verschil tussen GHG en GLG, bedraagt dus ongeveer 80 cm. Dit is duidelijk minder dan bij de humuspodzolen, waarin de grondwaterstanden gemiddeld jaarlijks 100–120 cm fluctueren (Knibbe & Marsman, 1962).

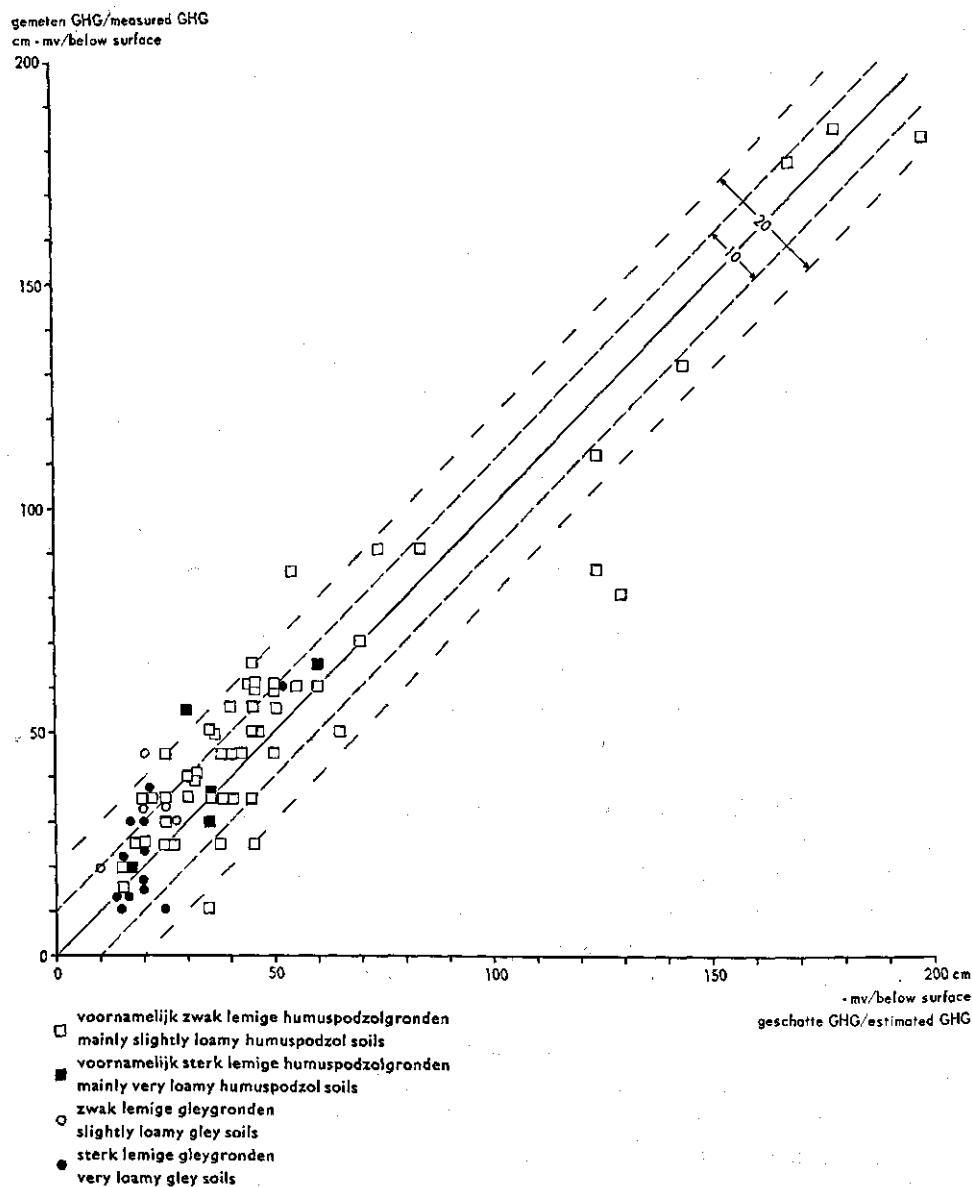
Uiteraard is het kostbaar en tijdrovend om voor de kartering van een bepaald gebied op een groot aantal plekken regelmatig en gedurende verscheidene jaren de grondwaterstand te meten. Er wordt daarom gebruik gemaakt van het verband, dat bestaat tussen de grondwaterstanden bepaalde kenmerken van het bodemprofiel. Met behulp daarvan en met enige aanvullende informatie is het mogelijk om snel en redelijk betrouwbaar de ter plaatse voorkomende Gt te schatten.

De bedoelde profielkenmerken zijn in het bijzonder de gleyverschijnselen en daarvan vooral de reductieverschijnselen. In de meeste gleygronden komt het niveau, waarop de 'eerste duidelijke reductieplekken' optreden, ongeveer overeen met dat van de GHG. In de zwaardere varianten van de gleygronden ligt de GHG iets beneden dit niveau. De GLG komt in de gleygronden ongeveer overeen met de bovengrens van de G-horizont. Omdat in de gleygronden in Salland de textuur op deze diepte overal ongeveer dezelfde is, hoeft niet op de textuur gecorrigeerd te worden (Haans, 1961; Knibbe & Marsman, 1962; Van Heesen, 1963).

Het hanteren van profielkenmerken zoals 'eerste duidelijke reductieplekken' vereist uiteraard een grote mate van geoefendheid. De mate van betrouwbaarheid, die na training kan worden bereikt, wordt geïllustreerd in de figuren 21 en 22. Wanneer men tussen schatting en meting een afwijking naar boven en naar beneden van hoogstens 10 cm toelaat, dan blijkt dat in 65% van de gevallen een goede schatting werd verricht. Laat men 20 cm verschil tussen schatting en meting toe, dan voldoen daaraan ongeveer 95% van het aantal schattingen.<sup>1</sup>

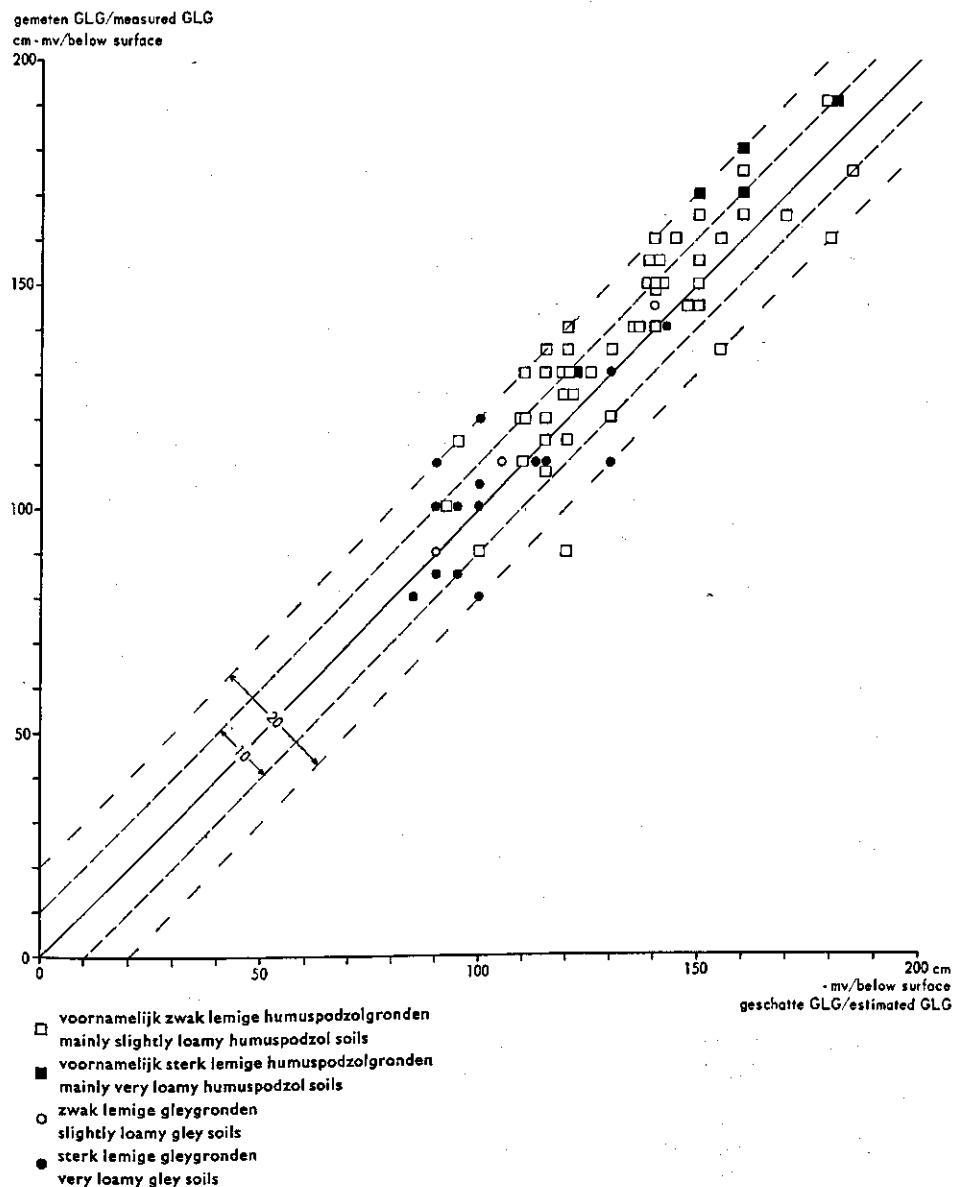
1. De relatie tussen grondwaterstanden en profielkenmerken blijkt in verschillende gebieden niet gelijk te zijn. De oorzaken hiervan zijn niet alleen verschillen in bodemgesteldheid, maar ook in het hydrologisch regiem. Dit betekent, dat men steeds over een aantal vaste waarnemingspunten met voldoende gemeten grondwaterstanden moet beschikken om tot verantwoorde schattingen te komen.

Fig. 21. Verband tussen schatting en meting van GHG in 74 profielen in Overijssel (naar Knibbe & Marsman, 1962). / Relation between estimated and observed values of mean highest watertable (GHG) in 74 soils in Overijssel (from Knibbe & Marsman, 1962).



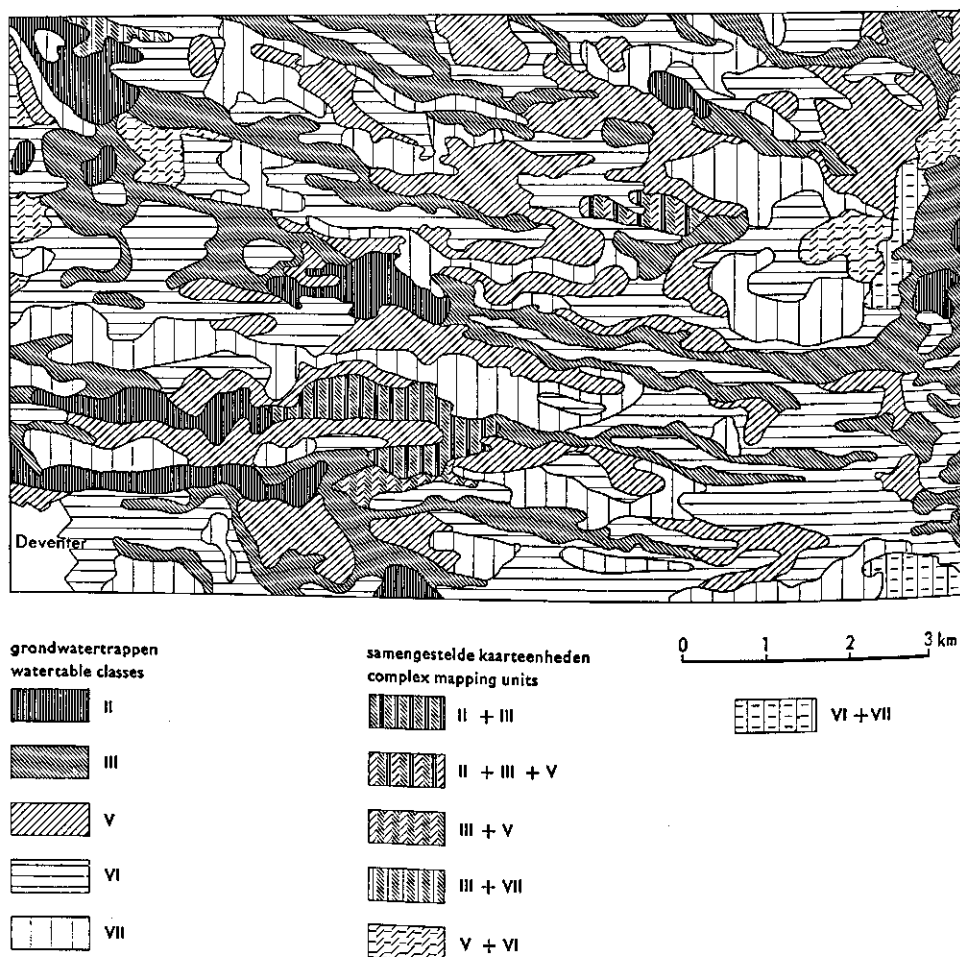
Ten slotte kan een grondwatertrappenkaart (Gt-kaart) worden samengesteld door, met behulp van o.a. terreinkennis, de informatie per punt te extrapoleren naar kaartvlakken. De figuren 23, 24 en 25 geven hiervan voorbeelden. In het gebied Luttenberg hebben de meeste gleygronden grondwatertrap IIIa, d.w.z. GHG tussen 0 en 20 en

Fig. 22. Verband tussen schatting en meting van GLG in 72 bodemprofielen in Overijssel (naar Knibbe & Marsman, 1962). / Relation between estimated and observed values of mean lowest watertable (GLG) in 72 soils in Overijssel (from Knibbe & Marsman, 1962).



GLG tussen 100 en 120 cm beneden maaiveld (tabel 16). De zwaardere gleygronden, o.a. BK1, hebben grotendeels Gt IIa, dwz. GHG en GLG zijn respectievelijk 0–20 en ondieper dan 100 cm -mv. De minder voorkomende gleygronden met een 30–50 cm dikke, humeuze bovengrond hebben voor ongeveer de helft van de oppervlakte

Fig. 23. Grondwatertrappenkaart van het zuidelijke deel van Salland, naar de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50000, blad Hattem Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c). Voor verklaring van de grondwatertrappen zie fig. 19a. / Watertable map of the southern part of Salland, from the Soil map of the Netherlands, scale 1:50000, Hattem Oost sheet (Stichting voor Bodemkartering, 1966c). For explanation of watertable classes see fig. 19a.



Tabel 16. Grondwatertrap (Gt) van de meest voorkomende gleygronden in Luttenberg (Buitenhuis et al., 1962). / Watertable class (Gt) of the prevailing coversand gley soils of Luttenberg (Buitenhuis et al., 1962).

Kaartenheid Mapping unit	Oppervlakte Area (ha)	Gt (%)		
		IIa	IIIa	Va
Gn34	627	7	87	6
Gn53	374	22	65	13
Zn34	138	2	76	22
BK1	220	73	27	0

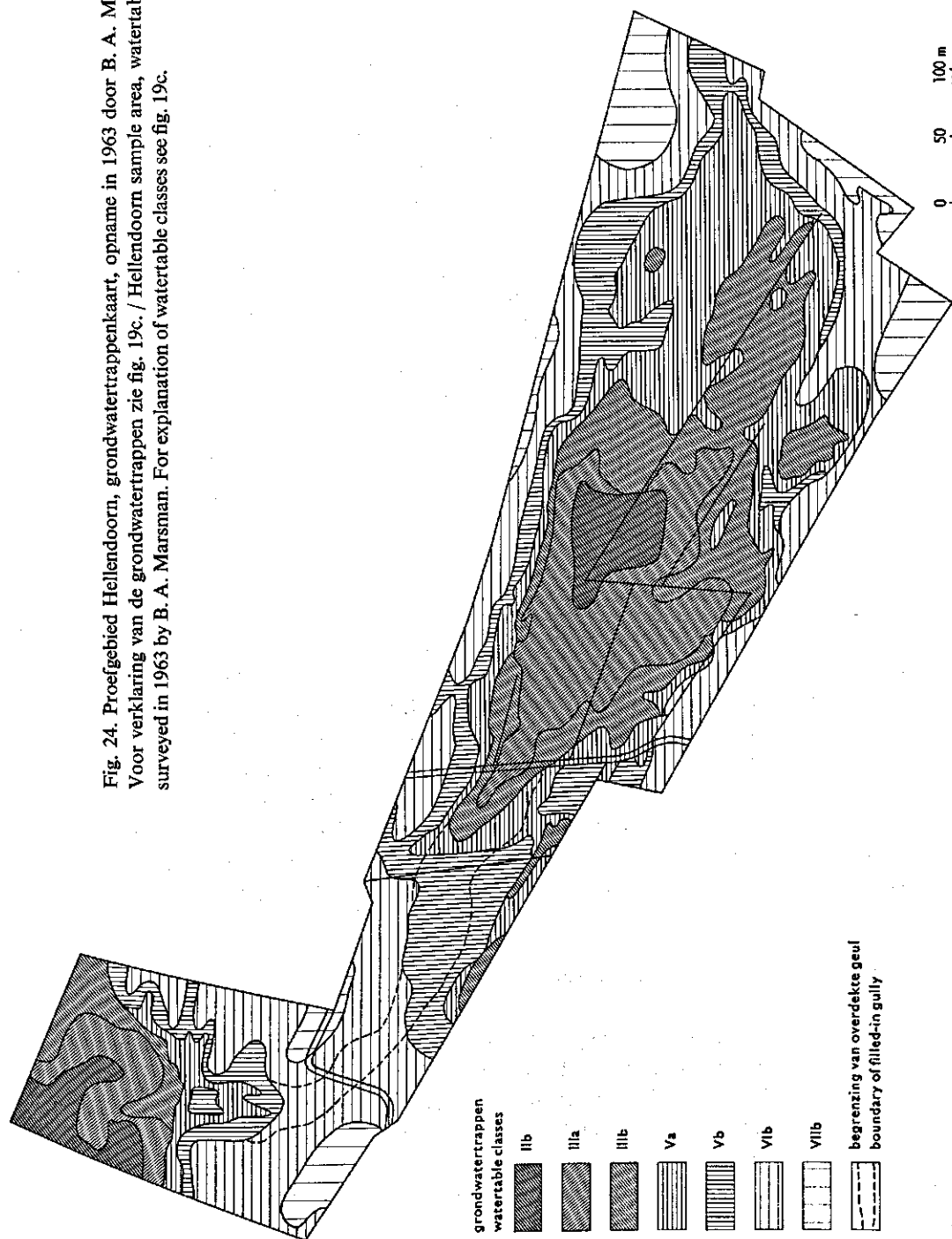
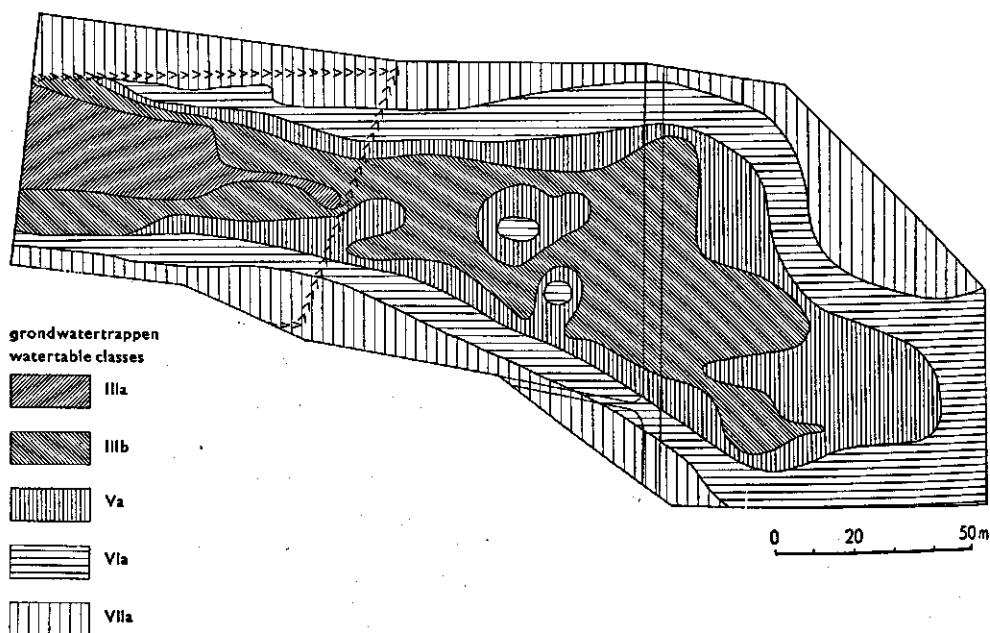


Fig. 24. Proefgebied Hellendoorn, grondwatertrappenkaart, opname in 1963 door B. A. Marsman. Voor verklaring van de grondwatertrappen zie fig. 19c. / Hellendoorn sample area, watertable map, surveyed in 1963 by B. A. Marsman. For explanation of watertable classes see fig. 19c.

Fig. 25. Proefgebied Vloedgraven, grondwatertrappenkaart, opname in 1964 door B. A. Marsman. Voor verklaring van de grondwatertrappen zie fig. 19d. / Vloedgraven sample area, watertable map, surveyed in 1964 by B. A. Marsman. For explanation of watertable classes see fig. 19d.



Gt IIIa, voorts Gt Va, dat is GHG 0–40 cm en GLG 120–160 cm -mv. De venige gleygronden van Luttenberg hebben voor een groot deel Gt IIa en verder Gt IIIa.

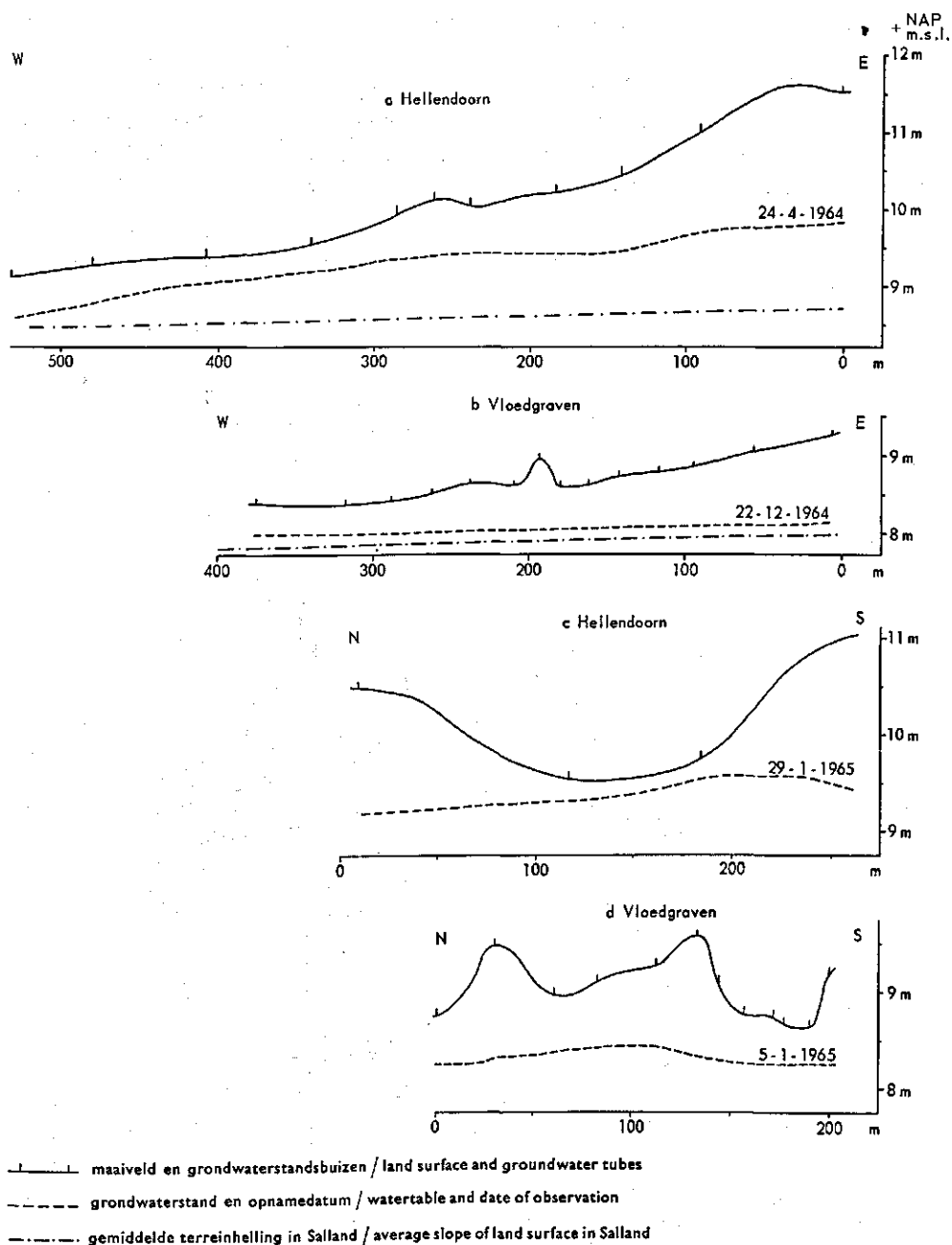
De grondwatertrappen zijn op de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50000, omgrensd en met blauwe Romeinse cijfers aangegeven, doch niet ingekleurd. Op een apart werkblad kan de kaartgebruiker desgewenst zelf een Gt-kaart inkleuren. Fig. 23 geeft van het zuidelijke deel van kaartblad Hattem-Oost (Stichting voor Bodemkartering, 1966c) zo'n iets vereenvoudigde Gt-kaart. De meeste gleygronden hebben Gt III; sommige gleygronden, vooral de venige, de zeer sterk lemige en die met een kleidek hebben Gt II.

#### 5.4 Opbolling van het grondwaterniveau

De grondwaterspiegel vertoont bepaalde oneffenheden, die in verzwakte mate met die van het maaiveld overeenkomen. In het volgende wordt hierop nader ingegaan.

Op enkele plekken in Salland werden grondwaterstandsbuizen in raaien aangebracht. De grondwaterspiegel, gemeten in de richting van de algemene terreinelling blijkt ongeveer daarmede overeen te komen. In de proefgebieden is het verhang wat groter, wat samenhangt met de grotere helling van het maaiveld ter plaatse (fig. 26a en 26b).

Fig. 26. Ligging van het maaiveld, de grondwaterstand op enkele tijdstippen in de proefgebieden en de gemiddelde terreinhelling in Salland. / Land surface, watertable on some dates in the sample areas and average slope of the land surface in Salland.



Loodrecht op de algemene terreinhelling blijkt, ter plaatse van de dekzandruggen, een enkele dm's grote opbolling van het freatische vlak voor te komen (fig. 26c en 26d). In de beekdalen zijn de standen t.o.v. NAP het laagst.

In het proefgebied Vloedgraven werd een gedetailleerd onderzoek naar de ligging van het grondwaterniveau ingesteld. Er werden hier 60 buizen aangebracht, meestal tot 250 cm diepte reikend. Met behulp hiervan konden ligging en grootte van de opbolling goed worden vastgelegd (fig. 27). Op 12 januari 1965 bedroeg de opbolling ongeveer 50 cm over een afstand van 120 m. Ter plaatse van de grootste helling van het maaiveld is het hoogteverschil van het freatische vlak 25 cm over een afstand van 25 m.

Fig. 27. Proefgebied Vloedgraven, grondwaterstanden op 12 januari 1965. / Vloedgraven sample area, watertable on 12 January 1965.

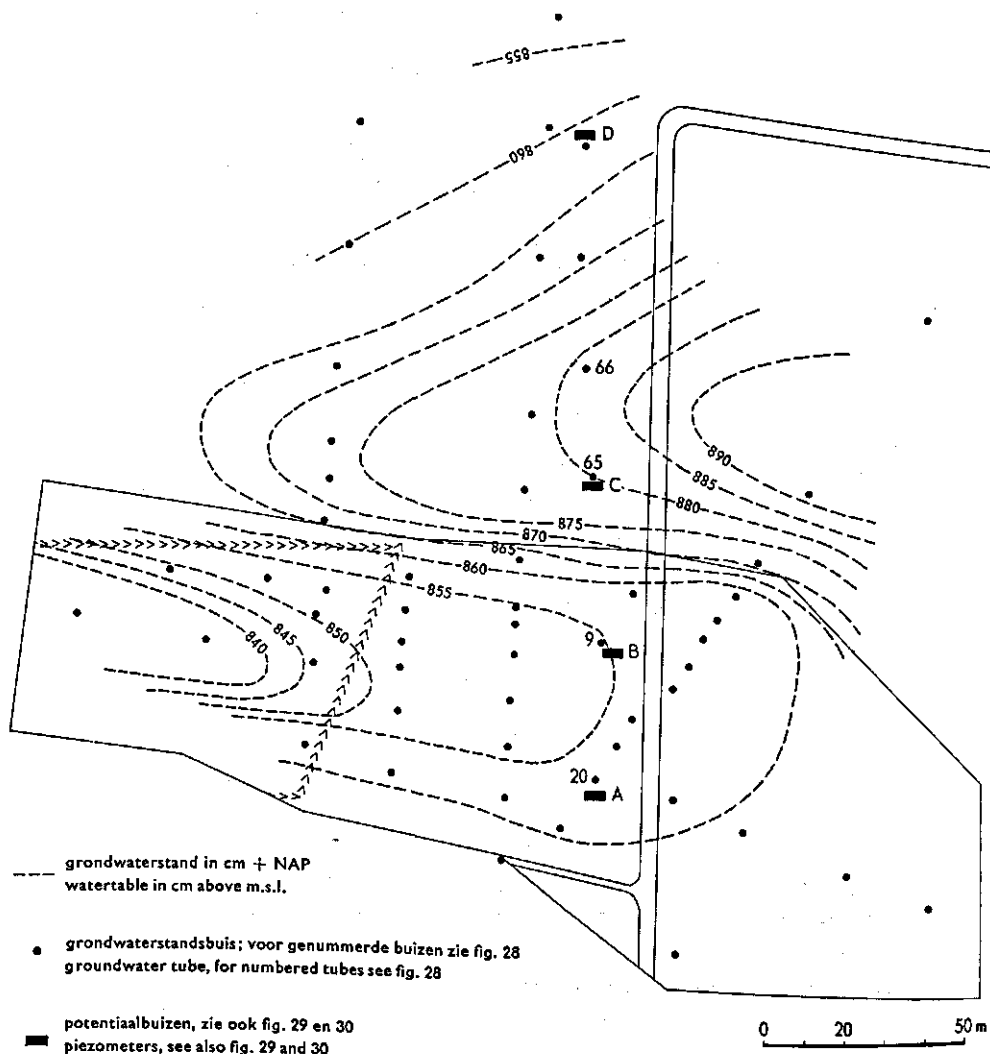
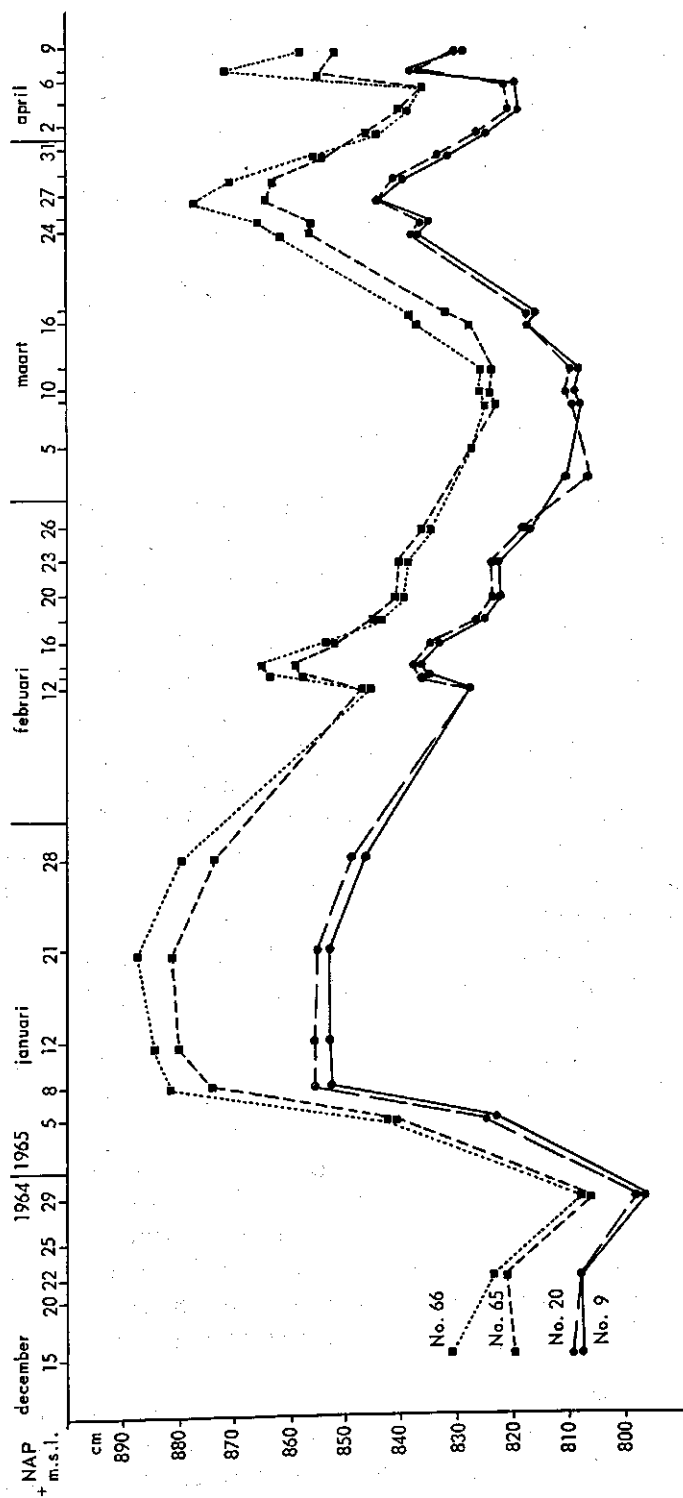




Fig. 28. Tijdstijghoogtediagram van enkele grondwaterstandsbuizen in het proefgebied Vloedgraven, voor de ligging van de buizen zie fig. 27. / Water-table in four groundwater tubes in the Vloedgraven sample area; for site of tubes see fig. 27.

No. 9, No. 20: buizen in gleygronden / tubes in coversand gley soils

No. 65, No. 66: buizen in humuspodzolen / tubes in humuspodzol soils



De mate van opbolling is sterk afhankelijk van het weer. In natte perioden, zoals in januari 1965, is de opbolling sterker dan in droge perioden, zoals in maart van dat jaar (fig. 28). Nooit evenwel bleek de opbolling geheel afwezig te zijn. Men kan stellen, dat in droge tijden de grondwaterstanden in de hogere gronden die van de lagere gronden, beide uitgedrukt t.o.v. NAP, benaderen en dat in een natte tijd het grondwater in de humuspodzolen hoger stijgt dan in de gleygronden. Of ook: de gemiddelde laagste grondwaterstanden zijn in beide gronden ongeveer gelijk, de gemiddelde hoogste grondwaterstanden zijn in de humuspodzolen hoger dan in de gleygronden. Het 20–40 cm grote verschil in fluctuatie van het grondwaterniveau van humuspodzolen en gleygronden (par. 5.3) hangt dan ook nauw samen met de omvang van de opbolling.

### 5.5 Stroming van het grondwater

De vraag kan worden gesteld of de opbolling van het freatische niveau in verband staat met de stroming van het grondwater. Ter plaatse van de opbolling komen humuspodzolen voor, waarvan men aanneemt, dat zij onder invloed van een neergaande waterbeweging zijn ontstaan. In proeven, waarin de bodemvorming wordt bestudeerd, wordt daarom vaak gebruik gemaakt van grondkolommen, waardoor men bepaalde oplossingen in neerwaartse richting laat stromen. In de beekdalen heeft het grondwaterniveau een min of meer holle ligging. De gleygronden, die daar worden aange troffen, zouden zijn ontstaan onder invloed van stagnerend grondwater en mogelijk zelfs van opstijgend grondwater. Gleyverschijnselen worden wel 'grondwaterafzettingen' genoemd, hetgeen duidt op veronderstellingen in deze richting. Van experimenten met grondkolommen, waarin het water omhoog wordt gevoerd, wordt evenwel zelden melding gemaakt in de literatuur (Demolon, 1966). Schematisch gezien zou er dus een neergaande waterbeweging in de podzolen voorkomen, zodat daar uitspoeling mogelijk is. In de gleygronden daarentegen komt een opwaartse grondwaterstroming voor, die de uitspoeling belemmert en zelfs de accumulatie van diverse stoffen mogelijk maakt.

Om na te gaan of deze grondwaterstromingen zich werkelijk voordoen werd gebruik gemaakt van een aantal potentiaalbuizen of piëzometers (Domhof, Haans & Knibbe, 1965). De plastic buizen, met een doorsnede van  $2\frac{1}{2}$  cm, waren aan de onderzijde voorzien van een filter, waardoor het grondwater kon toetreden. Er werd zorgvuldig op toegezien, dat de omringende grond goed aansloot tegen de buizen, die in een aantal bij elkaar geplaatst werden met de filters op diepten van 1 tot 6 m. Stijgt het water in de bijeengeplaatste buizen tot het zelfde niveau, dan is er geen verticale stroming aanwezig. Wijken de standen in de diepe buizen naar boven of beneden af van die in de ondiepe buizen, dan is er een opwaartse, respectievelijk een neerwaartse grondwaterbeweging aanwezig.

In het proefgebied Vloedgraven werden vier opstellingen gemaakt, A t/m D, ieder bestaande uit acht buizen (fig. 27). Per opstelling kwamen de filters paarsgewijs op 1, 2, 4 en 6 meter diepte voor; bij opstelling D werd het laatste paar filters op 5 m

diepte aangebracht. De opstellingen A en B lagen in het beekdal met gleygronden, C en D in de dekzandrug met humuspodzolen ter plaatse van de opbolling van het freatische vlak. De richting van de raai was zuid-noord, loodrecht dus op die van de dekzandruggen en het beekdal.<sup>1</sup>

Op 32 tijdstippen werden in de periode van half september 1964 tot midden april 1965 waarnemingen uitgevoerd. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat (vgl. ook fig. 29 en 30).

Opstelling A, gleygronden. De standen in alle buizen zijn vrijwel gelijk. In de ondiepe buizen zijn de standen vaak tot 1 cm hoger dan die in de diepe buizen. Dit doet zich voor direct na een regenbui. In de ondiepe buizen worden nauwelijks standen gevonden, die lager zijn dan in de diepe buizen. De standen in de 4 en 6 meter buizen

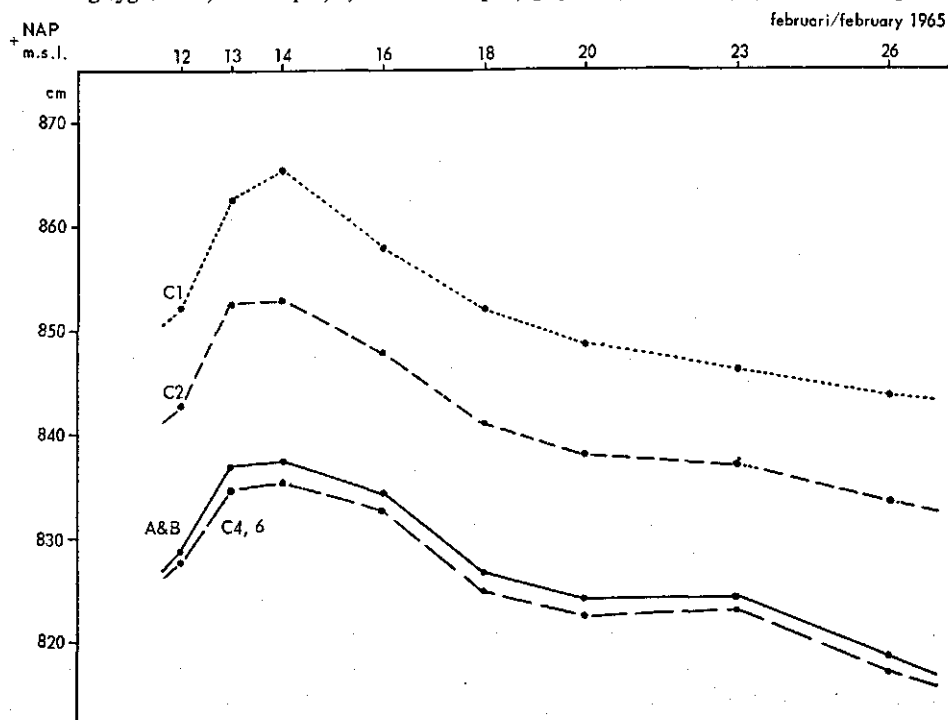
Fig. 29. Tijdstijghoogteverloop in enkele potentiaalbuizen in het proefgebied Vloedgraven; voor ligging der buizenseries A, B en C zie fig. 27. / Hydraulic head in some piezometers in the Vloedgraven sample area; for site of A, B and C see fig. 27.

C1: humuspodzol, filter op 1 m diepte / humuspodzol, filter at 1 m depth

C2: humuspodzol, filter op 2 m diepte / humuspodzol, filter at 2 m depth

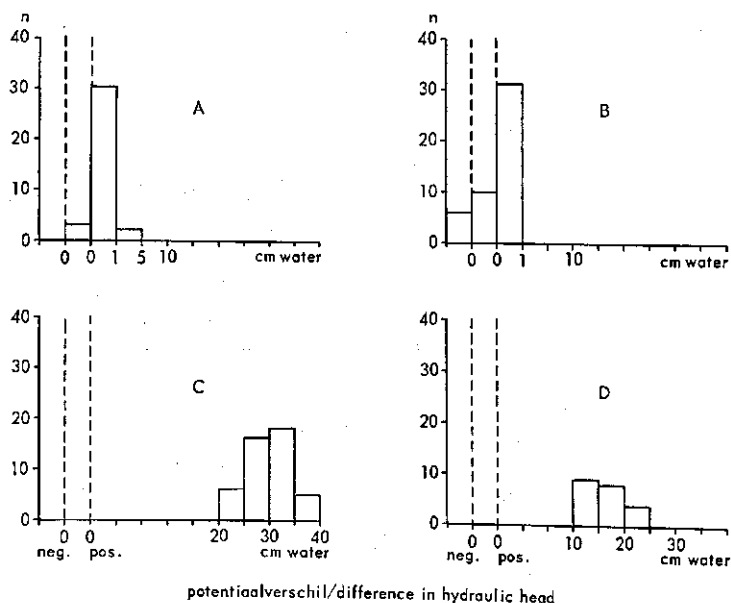
C4, 6: humuspodzol, filters op 4 en 6 m diepte / humuspodzol, filters at 4 and 6 m depth

A & B: gleygronden, filters op 1, 2, 4 en 6 m diepte / gley soils, filters at 1, 2, 4 and 6 m depth



1. Het onderzoek werd uitgevoerd in nauwe samenwerking met Dr Ir J.C.F.M. Haans en J. Domhof, waarvoor hier dank wordt gebracht.

Fig. 30. Frequenties van potentiaalverschillen tussen 1 m en 5 of 6 m buizen in gleygronden (A en B) en in humuspodzolen (C en D); voor de ligging van A, B, C en D zie fig. 27. / Frequency of differences in hydraulic head between 1 m and 5 or 6 m piezometers in gley soils (A and B) and in humuspodzol soils (C and D); for site of A, B, C and D see fig. 27.



zijn steeds gelijk. De conclusie is, dat het grondwater ter plaatse vrijwel altijd in statisch evenwicht verkeert. Er zijn zwakke aanwijzingen dat er soms wegzijgend, soms opstijgend grondwater is.

De resultaten van de metingen in opstelling B, eveneens in de gleygronden van het beekdal, zijn nagenoeg gelijk aan die van A.

De piëzometers van opstelling C liggen in de dekzandrug met humuspodzolen ter plaatse van de sterkste opbolling van het freatische vlak. Er zijn zeer duidelijke verschillen in de standen. In de ondiepe buizen zijn deze ongeveer 30 cm hoger dan in de diepste buizen. De verschillen tussen de 2 m en de 6 m buizen bedragen ongeveer 16 cm, die tussen de 4 en de 6 m buizen hoogstens 1 cm. De verschillen zijn het grootst na regen en nemen in droge tijd af. Het is duidelijk, dat er sprake is van een neerwaartse grondwaterstroming.

Opstelling D, humuspodzolen. Deze buizen werden iets ten noorden van de grootste opbolling geplaatst. Over het algemeen stemmen de resultaten met die van C overeen. De 4 en 5 m buizen hebben gelijke standen. In de 1 m buizen zijn zij gemiddeld 16 cm, in de 2 m buizen gemiddeld 4 cm hoger. De verschillen zijn het grootst na een regenbui. Evenals bij C verkeert het grondwater hier dus in een neergaande beweging.

Uit soortgelijk onderzoek in de Achterhoek en in de Gelderse Vallei zijn dezelfde tendenzen naar voren gekomen. De tekenen dat het grondwater in de gleygronden in opwaartse richting stroomt zijn hier in sommige gevallen duidelijker dan in de Vloed-

graven (mond. meded. Dr J. C. F. M. Haans en J. Domhof).

Het onderzoek met de piëzometers heeft aangetoond, dat de veronderstelling van een neerwaartse grondwaterstroming in de humuspodzolen juist is en dat het grondwater in de gleygronden meestal in evenwicht is. De opbolling van het grondwater-niveau hangt kennelijk samen met de wegzijging van het water in de humuspodzolen. Wanneer we de grondwaterstanden zouden meten met behulp van potentiaalbuizen met filters op 6 m diepte, dan zouden we in het geheel geen opbolling kunnen aantonen. De standen in alle 6 m buizen zijn namelijk vrijwel gelijk. Evenmin zou de grotere fluctuatie van het grondwaterniveau in de humuspodzolen in vergelijking met die van de gleygronden worden gevonden. Deze is het gevolg van het hoger stijgen van de grondwaterstanden in natte perioden en niet het gevolg van het dieper wegzakken in droge tijden.

Voor de studie van de genese van de gleygronden zijn we vooral geïnteresseerd in het al of niet bestaan van een opwaartse grondwaterbeweging die, zoals uit het voorgaande zou kunnen worden afgeleid, nauwelijks aanwezig is. De hoeveelheid grondwater die wordt verplaatst hangt evenwel niet alleen af van de grootte van het potentiaalverschil, maar ook van de doorlatendheid. Bij zeer goed doorlatend materiaal, zoals in de ondergrond van de gleygronden in Salland voorkomt, duidt een klein potentiaalverval reeds op een relatief groot watertransport. Dit betekent, dat er bij de gleygronden rekening kan worden gehouden met een periodieke, niet onaanzienlijke watertoevoer.

Een ander argument voor de grondwateraanvoer naar de gleygronden is aan het landschap te ontlelen. Het ontbreken, onder natuurlijke omstandigheden, van een zichtbare afwatering in de dekzandruggen heeft tot gevolg dat het neerslagoverschot van deze gebieden via ondergrondse banen in de beekdalen aan de dag treedt. Vooral in neerslagrijke perioden zal er een aanvoer van grondwater uit de dekzandruggen naar de beekdalen plaatsvinden. Door het graven van sloten in de gebieden met humuspodzolen en het kanaliseren van beken zijn er wijzigingen in het hydrologische regiem opgetreden, o.a. in de vorm van een algemene verlaging van de grondwaterstanden. Het is heel goed mogelijk, dat de grondwaterstroming van de humuspodzolen naar de gleygronden daarom thans minder duidelijk is dan vroeger het geval was.

De raai potentiaalbuizen in de Vloedgraven is noord-zuid gericht, zodat alleen de stroming in dit vlak kan worden nagegaan. De richting van de isohypsen (fig. 27) maakt het waarschijnlijk, dat de stroming in werkelijkheid een meer zuidwestelijke richting heeft. In het voorafgaande werd verondersteld dat de stroming vanuit de plaatselijke dekzandrug plaatsvindt. De mogelijkheid, dat de Sallandse heuvels nog invloed uitoefenen lijkt klein, gezien de afstand van ongeveer 8 km. In het Hellendoornse Broek, dat nauw besloten ligt tussen twee stuwwallen, is een dergelijke invloed waarschijnlijk groter.

## 5.6 Doorlatendheid

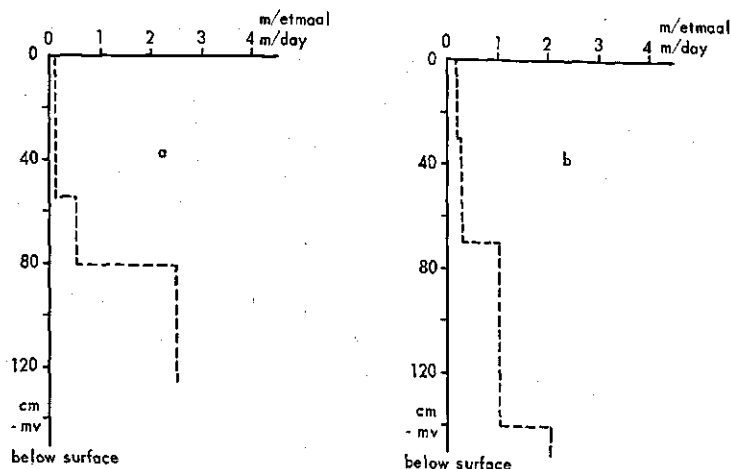
De opbolling van het grondwaterniveau en de potentiaalverschillen van het grondwater hangen nauw samen met de doorlatendheid. Slecht doorlatende lagen kunnen

belangrijke potentiaalverschillen tot gevolg hebben (Domhof et al., 1965). Over het algemeen is de doorlatendheid van zandgronden goed, hoewel in de bovengrond soms matig, zoals in figuur 31 voor gleygronden en humuspodzolen in Salland is aangegeven. Bij de gleygronden stijgt op ca. 80 cm diepte de doorlatendheid vrij scherp tot 1 à 4 m/etmaal, in de humuspodzolen is deze toename geleidelijker en pas dieper dan 140 cm worden waarden van omstreeks 2m/etmaal bereikt.

Dit betekent, dat in de bovenste lagen van het bodemprofiel het grootste potentiaalverval mag worden verwacht. Dit stemt overeen met het feit dat de potentiaalverschillen tussen de 1 m en de overige buizen groter zijn dan tussen de diepere buizen onderling. Deze verschillen, die bij de gleygronden nauwelijks aanwezig zijn, zouden daar duidelijker naar voren komen wanneer er filters op bijvoorbeeld 50 cm diepte waren geplaatst. Juist tussen 50 en 100 cm neemt nl. de doorlatendheid vrij sterk toe. In de ondergrond, waar de doorlatendheid aanzienlijk is, is het potentiaalverval gering of afwezig. In de humuspodzolen kan tussen 1 en 2 m diepte een potentiaalverval optreden omdat hier, anders dan bij de gleygronden, nog een toename van de doorlatendheid voorkomt.

De doorlatendheid van dekzand wordt sterk beïnvloed door de fijne, zeer sterk le-mige laagjes in het profiel. Wanneer het dekzandpakket dik is, zoals bij de humuspodzolen, en er veel van dergelijke laagjes in aanwezig zijn, zal de grondwaterbeweging sterk worden geremd (Willet, 1962). Koenigs (1964) en Van der Meer & Willet (1964) hebben er op gewezen, dat de opeenvolging van laagjes met verschillende textuur, zoals die kan ontstaan bij grondbewerking onder zeer natte omstandigheden, de doorlatend-

Fig. 31. Schematisch verloop van de doorlaatfactor in gleygronden en humuspodzolen in Salland, gemiddeld naar gegevens van Kon. Ned. Heidemij 1957. / Hydraulic conductivity in coversand gley soils and humuspodzol soils in Salland, average values after data from Kon. Ned. Heidemij 1957.



- a. gleygronden, sterk lemig zand op leemarm zand / coversand gley soils, very loamy sand on loam-poor sand
- b. humuspodzolgronden, sterk lemig zand op leemarm zand / humuspodzol soils, very loamy sand on loam-poor sand

heid sterk kan beperken. Ook humusverkittingen en zogenaamde waterhardlaagjes (humusinspoelingslaagjes in de ondergrond van bijv. humuspodzolen) kunnen de verticale doorlatendheid sterk beperken. Deze verdichte lagen zijn waarschijnlijk mede verantwoordelijk voor de ondiepe beworteling van de humuspodzolen. Hiermee hangt weer samen, dat de mogelijkheid van watertransport door wortelgangen in humuspodzolen niet zo groot is.

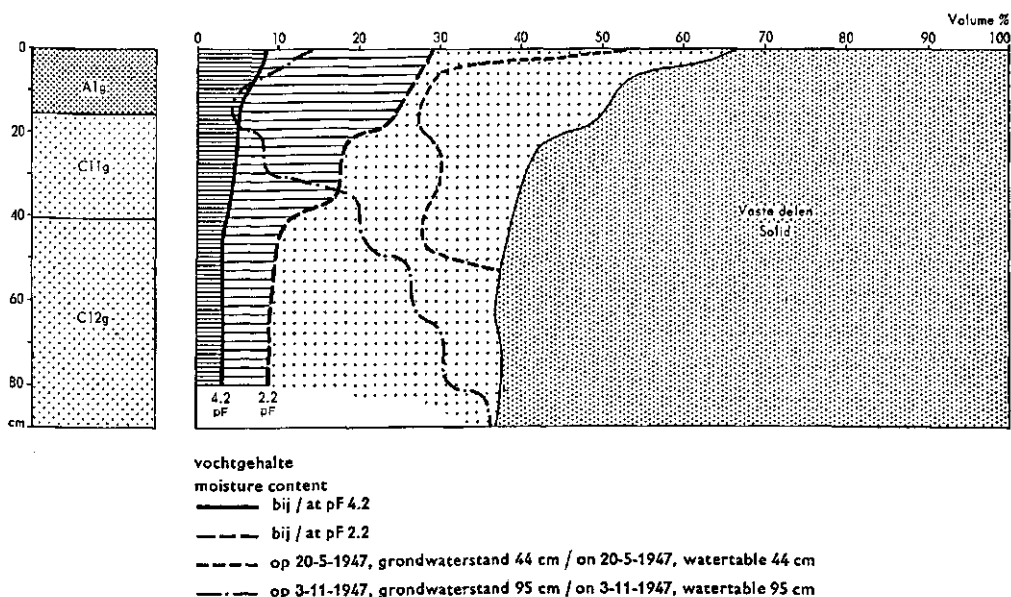
In de gleygronden ontbreken zulke verkittingen gewoonlijk; mogelijk is, mede als gevolg daarvan, in gleygronden veelal een tamelijk goed ontwikkeld en vrij diep reikend wortelgangenstelsel aanwezig, hetgeen dan weer de waterbeweging vergemakkelijkt.

## 5.7 Bodemvocht

Het bodemvocht (water, voorkomend boven het freatisch niveau) is eveneens van grote betekenis voor de gleygronden. Zo hebben de lemige gleygronden tijdens langdurige droogteperiodes nog geruime tijd water beschikbaar voor de planten, zoals in Salland in 1959 voor de graslanden duidelijk gebleken is.

In figuur 32 is van een gleygrond uit Noord-Brabant het verloop van het vochtgehalte met de diepte bij twee pF-waarden en op twee data in het zeer droge jaar 1947 gegeven. In de eerste plaats blijkt, uit het door Haans uit de textuur en het humusgehalte afgeleide vochtgehalte bij pF 2,2 en 4,2, dat het profiel een vrij grote hoeveelheid

Fig. 32. Vochtgehalte in een gleygrond onder verschillende omstandigheden (Naar Haans, 1960). / Moisture content of a coversand gley soil under different conditions (from Haans, 1960).



beschikbaar vocht heeft. In de tweede plaats, dat in de loop van het jaar het vochtgehalte van de bovengrond vrijwel tot het verwelkingspunt daalde. In het najaar was het vochtgehalte in de ondergrond hoog als gevolg van de grondwaterstand, die op dat moment 95 cm -mv bedroeg.

De totale hoeveelheid beschikbaar vocht, door sommering per bodemlaag verkregen, kan in gleygronden vrij groot zijn. Haans (1960) berekende dat een sterk leemige, matig diep humeuze gleygrond uit de Gelderse Vallei tot 1 m diepte 220 mm beschikbaar vocht heeft. In vergelijking met de andere door Haans genoemde voorbeelden steekt deze gleygrond in dit opzicht gunstig af.

In het eveneens zeer droge jaar 1959 viel in Salland van begin mei tot eind oktober, met uitzondering van enkele buien in begin augustus, geen neerslag. De grondwaterstanden zakten tot ongewone diepten (fig. 18). Midden september werd in de provincie een verkenning van de verdrogingstoestand van het gras uitgevoerd, waarvan de resultaten werden vergeleken met de bodemgesteldheid. Met uitzondering van twee gebiedjes met gleygronden bleken toen in Salland geen 'niet-verdroogde' gronden voor te komen. De 'weinig verdroogde' gronden omvatten vrijwel alle gleygronden, een groot deel van de lage humuspodzolen en de lage rivierkleigronden. 'Sterk verdroogd' waren de graslanden op sommige lage en op vele middelhoge humuspodzolen, op vele mengelgronden en op sommige hoge rivierkleigronden. De 'zeer sterk verdroogde' gronden ten slotte, omvatten de hoge humuspodzolen en andere hoge zandgronden en de overige hoge rivierkleigronden. Van de zandgronden ondervonden de gleygronden het minst de schadelijke gevolgen van de scherpe droogte, gevolgd door de lage humuspodzolen.

Het pF-onderzoek en de ervaringen van 1959 geven duidelijke aanwijzingen, dat een vrij diepe ontwatering van de gleygronden in Salland weinig schadelijke gevolgen zal hebben. Veeleer bestaat de indruk, dat de nadelen van hoge grondwaterstanden tijdens het groeiseizoen (beweidingsverliezen, oogstmoeilijkheden enz.), groter zijn dan die van lage grondwaterstanden.



## 6 Geologie

### 6.1 Inleiding

De gleygronden zijn ontstaan in materiaal dat grotendeels tijdens het laatste glaciaal (Würm) en voor een klein deel tijdens het Holoceen werd afgezet. De huidige granulaire samenstelling is vooral het gevolg van de geologische ontstaanswijze, terwijl de bodemvorming in dit verband van beperkte betekenis is.

De ondergrens van het gleygrondprofiel wordt gewoonlijk op ongeveer 1 m -mv. gelegd, omdat de beworteling niet dieper reikt en de belangrijkste bodemvormende processen zich hier hebben afgespeeld. De gevolgen van sommige bodemvormende processen, zoals ontkalking en uitspoeling van kationen, zijn evenwel merkbaar tot op enkele meters diepte. De eigenschappen van de daar voorkomende lagen zijn van betekenis voor bijv. de waterbeweging. We zullen daarom ook deze diepere lagen in het volgende betrekken.

### 6.2 Overzicht

De oudste afzettingen in Salland en naaste omgeving zijn de stuwwallen van de oostelijke Veluwe en van Salland (tabel 17). Zij zijn voornamelijk opgebouwd uit oostelijke en zuidelijke fluviatiele zanden en grinden, die door het Riss-landijs tot heuvels werden opgestuwd. Na het smelten van het ijs bleef een brede en diepe depressie achter, waarvan de bodem thans op ongeveer 50 meter beneden maaiveld ligt. Nog tijdens het Riss-glaciaal werd deze depressie opgevuld met enorme hoeveelheden zand en grind, aangevoerd door de rivieren.

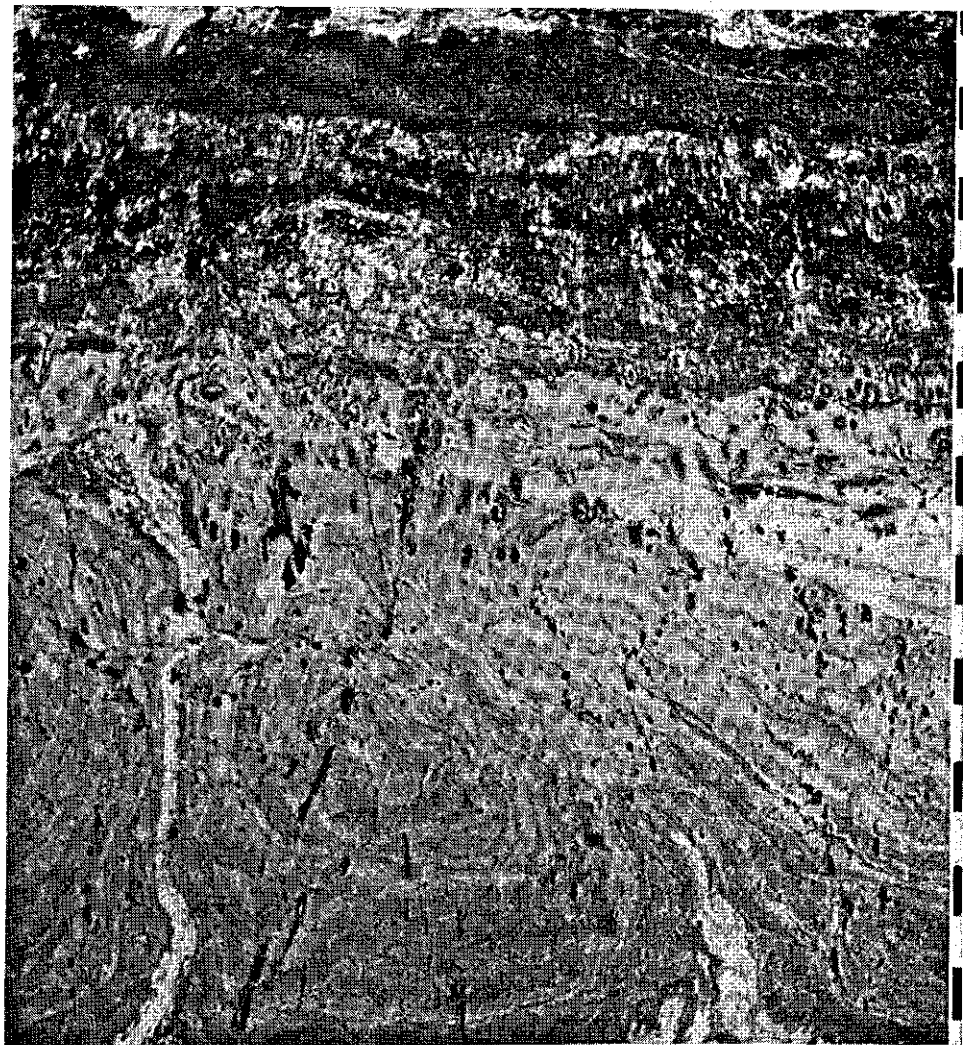
Gedurende de Eemtijd werden kleiige en venige lagen afgezet, die nu op verscheidene plaatsen in Salland, op ongeveer 10 meter beneden NAP, worden aangetroffen.

De opvulling van het dal tot het huidige niveau werd vrijwel voltooid tijdens het laatste glaciaal. Aanvankelijk werd opnieuw veel zand afgezet door de vlechtende rivieren, welk systeem wordt gekenmerkt door tal van beddingen, die zich splitsen en weer samenvoegen. De zanden zijn grotendeels door de Rijn aangevoerd. De top van dit Fluviatiele laagterras ligt in Salland op één tot enkele meters beneden maaiveld (foto 9). Waarschijnlijk nam, omstreeks 27000 jaar v. Chr., tijdens de overgang van Midden- naar Boven-Pleniglaciaal (tabel 17) het debiet van de rivier zodanig af, dat de afzetting grotendeels werd beëindigd (Van den Akker, Knibbe & Maarleveld, 1964). Van de vele beddingen bleef ten slotte één westelijke bedding, ongeveer ter plaatse van de huidige IJssel, in werking.

Tabel 17. Geologisch overzicht, grotendeels naar Van der Hammen et al. (1967). / Geology, mainly after Van der Hammen et al. (1967).

Statigrafie Stratigraphy	Afzettingen, bodemvormingen Deposits, soils	Temp. °C juli / July	Jaren v.Chr. Years B.C.
Holoceen	<div> <div> Subatlanticum Subboreaal Atlanticum Boreaal Preboreaal </div> <div> } </div> </div>	<div> 17   20 17 </div>	<div> 700 3000 5500 7500 8200 </div>
Plietstoecen	<div> Würm </div> <div> Laatglaciaal </div>	<div> 10 14 </div>	<div> 8900 </div>
	<div> Jonge Dryas Allerød  Oude Dryas Bølling </div>	<div> 9 11 </div>	<div> 9700 9900 10300 </div>
	<div> Pleniglaciaal </div> <div> Boven-Pleniglaciaal </div> <div> A </div> <div> Midden-Pleniglaciaal Onder-Pleniglaciaal </div> <div> Vroegglaciaal </div>	<div> &lt;5   </div> <div> &lt;5-6  </div> <div> 17 15 </div>	<div> 27000 40000  </div> <div> &gt;58000 </div>
Eemien	<div> o.a. klei en veen e.g. clay and peat </div>	<div> max. 20 </div>	<div> &gt;70000 </div>
Riss	<div> ijsbedekking, stuwwallen ice cover, ice pushed ridge </div>		

Foto 9. Veel voorkomend beeld van de geologische opbouw van het gleygrondprofiel in Salland. 0-100 cm: roestige A1g en C1g in Oud dekzand (II?); 100-200 cm: sterk kryoturbaat Oud dekzand (I?); > 200 cm: Fluviaal laagterras. / Plate 9. Geology of a gley soil in Salland. 0-100 cm: A1g and C1g in Older coversand (II?); 100-200 cm: strongly cryoturbatic Older coversand (I?); > 200 cm: Lower fluvial terrace sands.



Tijdens het zeer koude Boven-Pleniglaciaal en het iets minder koude Laatglaciaal werd periodiek dekzand afgezet. Het stook grotendeels uit de droge rivierbeddingen en bedekte het gehele gebied, met uitzondering van de stuwwallen.

Aanvankelijk werd het Niet-lemige oude dekzand afgezet, dat in het gehele gebied wordt gevonden; vooral in het oosten van Salland is de laag vrij dik. Het Lemige oude dekzand komt overal in een 20 tot 60 cm dikke laag voor. Op vele plekken in het mid-

den en oosten van Salland ligt het aan of nabij de oppervlakte, er hebben zich humus-podzolen en gleygronden in ontwikkeld. Het Niet-lemige en het Lemige oude dekzand komen waarschijnlijk overeen met het Oude dekzand II (par. 6.4).

Het Laatglaciaal begint met de iets warmere Bøllingtijd, waarna tijdens de koudere Oude Dryastijd het Jonge dekzand I werd afgezet. Dit zand heeft in Salland een beperkte verbreiding; het komt vooral voor in de dekzandruggen, die zich tot 10 km ten oosten van de IJssel uitstrekken (Van den Akker et al., 1964). Tijdens de warme Allerlødtime vond enige bodemvorming plaats, die vooral in de dekzandruggen ten noorden van de lijn Heino-Lemelerveld als het Bodemprofiel van Usselo wordt teruggevonden<sup>1</sup>. Dunne veenlaagjes, eveneens uit de Allerlødtime daterend, worden in de lage gronden van hetzelfde gebied vaak gevonden. De afzetting van dekzand eindigde met het Jonge dekzand II, dat eveneens vooral in het noorden van Salland wordt aangetroffen.

Aan het begin van het Holoceen trad een blijvende verbetering van het klimaat op. De toegenomen vegetatie maakte van nu af aan zandverstuivingen vrijwel onmogelijk. Slechts op enkele plekken, voornamelijk langs de kleine rivieren, ontstonden nog zandverstuivingen. Langs de IJssel bijv. werden nog tot na de Middeleeuwen rivierduinen gevormd (Hamming et al., 1965).

Op vele lage plekken, zowel in de afvoerloze laagten van het dekzandgebied als langs de IJssel en andere waterlopen, ontwikkelde zich veen. Fluviale zanden en kleien werden in relatief kleine hoeveelheden door de beken en kleine rivieren afgezet. Langs de IJssel kwamen, vooral sinds het begin van de jaartelling, toen er weer een duidelijke verbinding met de Rijn ontstond, tot na het einde van de Middeleeuwen belangrijke kleiafzettingen tot stand (Hamming et al., 1965).

### 6.3 Oudere afzettingen

Onder de dekzandlagen van de gleygronden in Salland komen vanaf 120 tot 200 cm diepte achtereenvolgens afzettingen voor, behorend tot het Fluviale laagterras, het Eemien en het Riss.

De Rissglaciale afzettingen liggen op ongeveer 10 m tot meer dan 50 m diepte. Het zijn overwegend goed doorlatende grove zanden en grinden. Zij worden plaatselijk bedekt door de kleiige en venige afzettingen van het Eemien, de zgn. continentale Eemafzettingen (Burck, 1949). Gezien de fijne textuur (tabel 18, monsternr. 1) en de uiterst fijne horizontale gelaagdheid die we in enkele boormonsters hebben waargenomen, mag worden aangenomen dat de doorlatendheid hiervan gering is. Op de plekken waar de fijne Eemafzettingen ontbreken, komt een continu pakket vrij grove zanden voor, waarvan de doorlatendheid uiteraard goed is.

De zanden van het Fluviale laagterras worden in de gleygronden van westelijk Salland vaak reeds binnen boorbereik (<120 cm) aangetroffen. In oostelijk Salland

1. Naar een voorstel van Prof. Dr G.C. Maarleveld wordt de Laag van Usselo hier Bodemprofiel van Usselo (Usselo Soil) genoemd.

liggen ze op ongeveer 200 cm diepte. Als gevolg van de zeer sterke kryoturbate vervormingen varieert de diepteligging bijzonder sterk (foto 9). Veelvuldig worden leembrokken gevonden die zijn opgenomen in de kryoturbate figuren en die kennelijk oorspronkelijk een gesloten laag aan de top van het Fluviale laagterras vormden (tabel 18, nr. 3 en 4). In verscheidene gevallen werd een onthoofding van de figuren gevonden. Vrij zeker is dit erosievlak identiek met de Laag van Beuningen (Van der Hammen et al., 1967). De zanden van het Fluviale laagterras zijn meestal matig fijn tot grof en kalkhoudend (tabel 18, nr. 2). Zij onderscheiden zich o.a. van de bovenliggende zanden door het veelal bonte uiterlijk, hetgeen samenhangt met de aanwezigheid van gemakkelijk verweerbare mineralen. De zanden voelen scherp aan, daar de korrels hoekig zijn, in tegenstelling tot de zacht aanvoelende dekzanden waarvan de korrels goed afgerond zijn.

#### 6.4 Dekzand

Deze zanden beslaan het grootste deel van het profiel van de gleygronden. Zij reiken vrijwel vanaf het maaiveld tot 120 à 200 cm diepte. Er komen plaatselijk dunne verspoelde laagjes, soms met fijn grind, in voor (tabel 18, nr. 7).

De indeling van de dekzanden volgens Van der Hammen et al., (1967) zoals in enigszins gewijzigde vorm in tabel 17 weergegeven, is voor Salland niet geheel duidelijk. Wanneer, zoals boven verondersteld, de bovenzijde van de soms onthoofde, kryoturbate laag overeenkomt met de Laag van Beuningen, betekent dit dat het Oude dekzand I voor een groot deel bij de kryoturbatie werd betrokken. In hoeverre de in par. 6.3 genoemde kryoturbate leem tot het Oude dekzand I behoort, kan niet met zekerheid worden gezegd. Van den Akker et al., (1964) evenwel onderscheidde deze formatie niet, wel onderscheidde ze het Niet-lemige oude dekzand en het Lemige oude dekzand. Deze laatste afzettingen liggen boven de Laag van Beuningen en behoren daarom vrij zeker tot het Oude dekzand II.

Het Niet-lemige oude dekzand komt, voor zover bekend, nergens aan de oppervlakte voor. Het is in de gleygronden steeds bedekt met een ten minste 50 cm dikke laag jongere afzettingen. Het heeft, afgezien van kryoturbate storingen, een fijne horizontale gelaagdheid, waarin de zandige laagjes overheersen. Deze gelaagdheid is tamelijk storend voor de verticale waterbeweging. Het zand bevat zelden koolzure kalk en is veel minder bont van samenstelling dan dat van het Fluviale laagterras. De afzonderlijke korrels zijn goed afgerond. Enkele voorbeelden van de korrelgrootteverdeling worden gegeven in tabel 18, monster nrs. 5 en 6.

De afzettingen van het Lemige oude dekzand zijn 10 tot 60 cm dik en hebben eveneens een fijne horizontale gelaagdheid waarin evenwel de sterk lemige laagjes domineren. Dit dekzand is mineralogisch weinig verschillend van de andere dekzanden ter plaatse. Het komt in de meeste gleygronden aan of nabij de oppervlakte voor, zoals gesteld door Van den Akker et al., (1964). De grenzen van de gleygronden op bodemkaarten geven vaak tevens de grenzen van het aan de oppervlakte voorkomen van het Lemige oude dekzand aan. In een groot gebied ten oosten van Raalte zijn evenwel

Tabel 18. Analysegegevens van enkele sedimenten / Analytical data of some sediments.

Nr No	Monster Sample	Ligging Site	Diepte Depth in cm	pH- KCl	% van de grond % of soil	granulaire samenstelling particle size distribution			
						CaCO <sub>3</sub>	org. stof org. matter	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
						µm	0-2	0-50	50-150
						µm	µm	µm	150-2000
1	Eemafzetting / Eem deposit	Spoolde	1100	7,6	11,6	1,9 <sup>1</sup>	-	16	18
2	Fluviatiele laagterras / Fluvial terrace	Raalte	250	8,0	19,6	0,7	-	8	39
3	Leem / loam	Spoolde	500	6,5	0,1	0,7 <sup>1</sup>	-	12	21
4	Leem / Loam	Raalte	150	8,0	14,0	0,7 <sup>1</sup>	-	10	33
5	Niet leemig oud dekzand	Raalte	150	5,1	0	0,4	-	3,5	17
	Non- loamy older coversand								37
6	Niet leemig oud dekzand	Koordes	140	8,5	2,0	0,5	0,35	2,5	55
	Non- loamy older coversand								40
7	Grind / Gravel	Koordes	170	8,4	0,9	0,1	0,33	4	8
8	Leemig oud dekzand, humuspodzol	Posthoorn	10	5,4	0,0	11,3	0,26	1	42
	Loamy older coversand, humus podzol								24
9	Leem in leemig oud dekzand	Koordes	130	7,7	27,8	2,8	2,43	13	63
	Loamy layer in loamy older coversand								35
10	Leemig oud dekzand, gleygrond	Vloedgraven	10	4,7	0,0	4,1	0,96	4	35
	Loamy older coversand, gley soil								39
11	Leemig oud dekzand, gleygrond	Lettele	10	5,1	0,0	5,3	0,84	8	37
	Loamy older coversand, gley soil								37
12	Jong dekzand / Younger coversand	Hellendoorn	10	4,3	0,0	10,4	0,39	9	23
13	Beekklei / Brook deposit	Marshoek	5	4,4	0,0	10,0	-	14	43
									37

1. Volgens elementaire analyse, in de andere gevallen gloeiverlies / By organic carbon analysis, elsewhere loss on ignition.

humuspodzolen in dit zand ontwikkeld. Het leemgehalte is in de regel vrij hoog en varieert tussen 15 en 50%. De zandmediaan ligt beneden 150  $\mu\text{m}$ . De textuur van de afzonderlijke laagjes wijkt sterk af van die van het mengmonster (tabel 18, nrs. 8, 9, 10 en 11).

In de bovengronden van de gleygronden komt Jong dekzand voor. Het zand is in deze enkele dm's dikke laag vermengd met recente kleideeltjes en met organische stof. De oorspronkelijke geologische gelaagdheid is niet meer aanwezig. De korrels zijn als gevolg van het eolische transport sterk afgerond. Tabel 18, nr. 12, geeft een voorbeeld van de korrelgrootteverdeling.

## 6.5 Datering van de dekzanden

Met behulp van profielstudie, pollenanalytisch onderzoek en landschappelijke verkenningen is gepoogd de dekzanden in Salland nader te dateren.

Aan de voet van de dekzandrug van Heino-Lemelerveld werd door Van den Akker et al., (1964) een profiel pollenanalytisch onderzocht (fig. 33). De sterk humeuze lemige laag, gyttja genoemd, bleek uit de Allerødtijd, het onder de gyttja voorkomende lemige zand uit de Oude Dryastijd te stammen. Op korte afstand daarvandaan werd in de rug het Bodemprofiel van Usselo gevonden. Zowel de gyttja als dit Bodemprofiel worden vrijwel niet in het zuidelijker gelegen deel van Salland aangetroffen. Dit betekent dat het Jonge dekzand II daar niet of nauwelijks aanwezig is.

In de zuidelijker delen van Salland wordt de datering van de dekzanden bemoeilijkt door het nagenoeg ontbreken van dateerbare venige of humeuze lagen. De venige of humeuze bovengrond leent zich uiteraard niet voor dit onderzoek, omdat er een sterke bijmenging van holocene pollen heeft plaats gehad. Zeer sporadisch evenwel worden enkele meters diepe geul- of komvormige depressies aangetroffen, die dateerbare laagjes bevatten. De geulopvulling gaat lateraal over in veel dunnere lemige dekzandlagen die zich over grote oppervlakten uitstrekken. De datering van de geulen biedt dus aanknopingspunten voor die van de lemige zandlagen.

Bennema & Pons (1957) beschreven zo'n geul (wash-out) in de ontsluiting van Velsen. Onder andere met behulp van het palynologisch onderzoek van Florschütz (1957) concludeerden zij dat de afzetting waarschijnlijk tot stand kwam tijdens het Laatglaciaal; de mogelijkheid van een interstadiale afzetting achtten zij echter niet uitgesloten.

Te Spoolde bij Zwolle werd door Hamming, Knibbe & Maarleveld (1965) een soortgelijke geul aangetroffen. De onderkant daarvan reikt tot een halve meter in het zand van het Fluviatiele laagterras. De geulopvulling gaat zijdelings over in Lemig oud dekzand dat waarschijnlijk uit het Boven-Pleniglaciaal stamt. De geul wordt afgedekt door Jong dekzand I en II. Het pollendiagram van de venige leem in de geul vertoont, volgens de interpretatie van Mevr. Dr. B. Polak, een zeer koud beeld, waarin de bosdichtheid met 22-13%, en daarin het aandeel van *Pinus*, gering is (fig. 34). *Artemisia* is met 3,5 tot 9,3% goed vertegenwoordigd. *Ericaceae* zijn afwezig. De afzetting stamt waarschijnlijk uit de Oude Dryastijd. Er werd een C14-datering uitge-





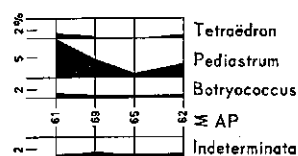


Fig. 33. (links/left). Pollendiagram Lemelerveld (ontleend aan / from Van den Akker, Knibbe & Maarleveld, 1964).

Fig. 34. (midden / centre). Pollendiagram Spoolde-Noord (gedeeltelijk ontleend aan / partly from Hamming, Knibbe & Maarleveld, 1965).

Fig. 35. (rechts / right). Pollendiagram Koordes (zie voor de monsterplaats fig. 36 en voor enkele analysegegevens tabel 19 / for sample site see fig. 36 and for some analytical data see table 19).

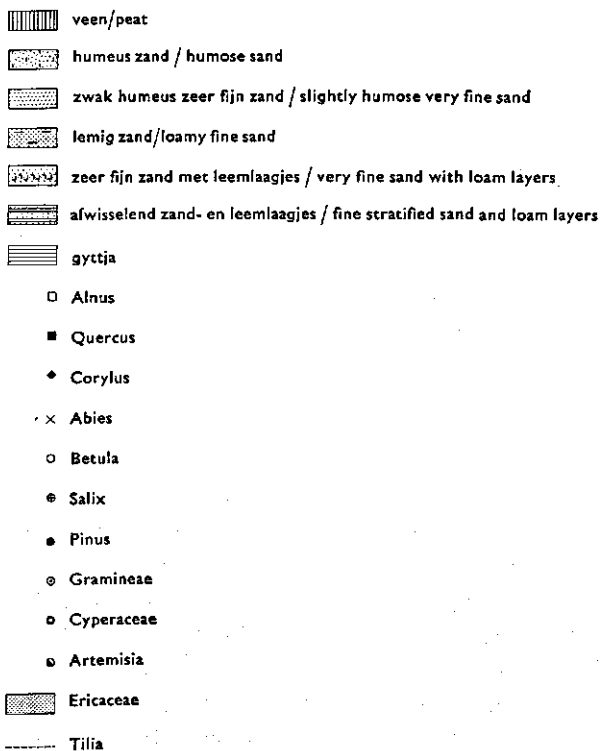
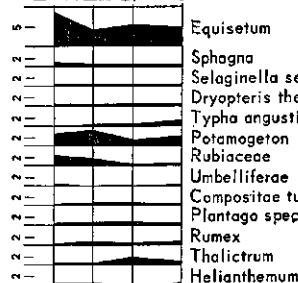
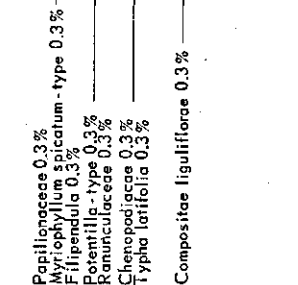
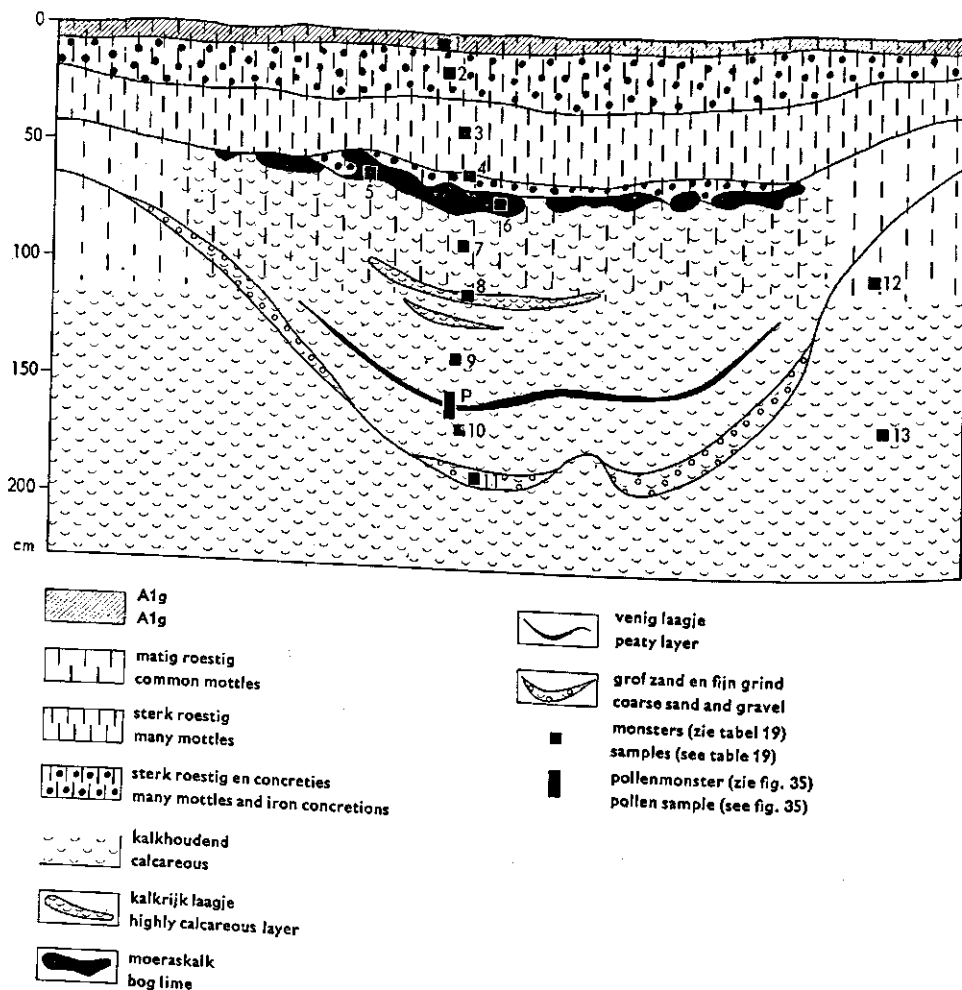


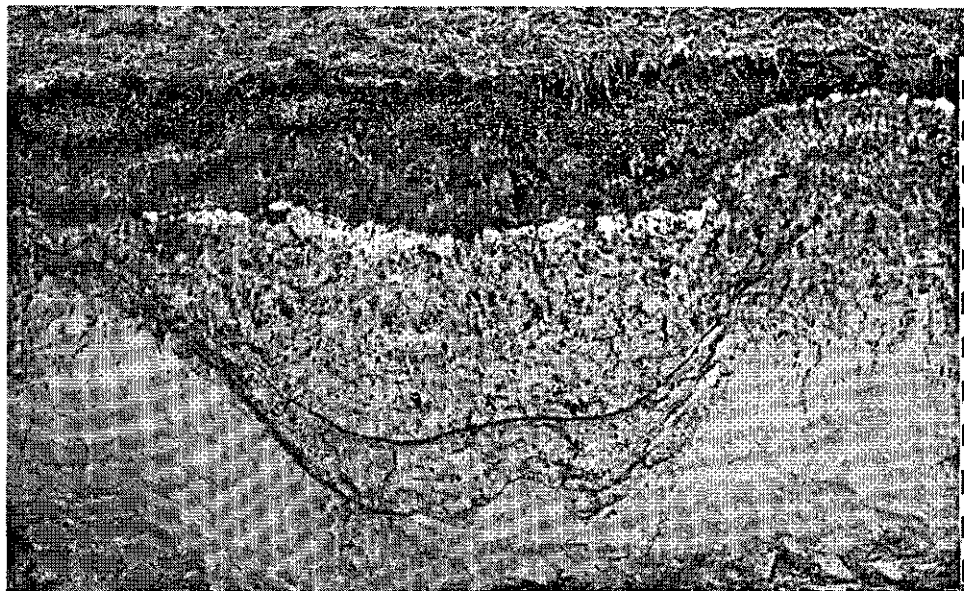
Fig. 36. IJzeroer-moeraskalkprofiel Koordes (foto 10). / Iron ore and bog lime profile at Koordes (see also plate 10).



voerd (GRN 4496) met als uitkomst  $9700 \pm 170$  jaar v. Chr. Dit wijst dus op een ouderdom, overeenkomend met de Oude Dryas- of mogelijk de Allerød-tijd.

Een derde geul werd tussen Heeten en Holten in Salland gevonden. Van dit profiel (Koordes) worden een profielschets, het pollendiagram, enkele analytische gegevens en een foto gegeven (fig. 35 en 36, tabel 19 en foto 10). Boven de geulopvulling is een venige gleygrond ontwikkeld. In tegenstelling tot Spoolde Noord ontbreekt het Bodemprofiel van Usselo of een daarmee vergelijkbare laag, zodat het waarschijnlijk is, dat Jong dekzand II ontbreekt. De pollendiagrammen van Spoolde Noord en Koordes vertonen veel overeenkomst. In de laatste is zowel het percentage boompollen (18) als *Artemisia* (maximaal 4,2) te hoog voor het Pleniglaciaal B. Het meest

Foto 10. IJzeroer-moeraskalkprofiel Koordes. Onder een humusrijke bovengrond en enkele sterk roestige en roedoornige horizonten ligt op ongeveer 60 cm diepte moeraskalk (wit op de foto). Daaronder is het profiel in de geulopvulling kalkrijk. Vgl. fig. 35 en 36 en tabel 19. / Plate 10. Koordes iron ore and bog lime profile. A thin black topsoil overlies some strongly mottled horizons with iron ore. Whitish bog lime occurs at about 60 cm depth. The deeper lying layers in the wash-out are highly calcareous. See also fig. 35 and 36 and table 19.



waarschijnlijke is, naar de mening van Mevr. Polak, dat de afzetting tijdens de Oude Dryastijd heeft plaatsgevonden.

De gegevens wijzen erop dat het zand, waarin de geulopvullingen zijdelings overgaan en dat eerder Lemig oud dekzand is genoemd, niet uit het Boven-Pleniglaciaal maar uit de Oude Dryastijd dateert. Wegens de korte duur daarvan, slechts 200 jaar (tabel 17) moet enige reserve met betrekking tot dit gegeven in acht worden genomen. Het is bijv. heel goed mogelijk, zoals Ir. J. C. Pape (mond. meded.) op grond van elders uitgevoerd onderzoek meent, dat althans een deel van de afzettingen uit de Bølling-tijd dateert. Het lijkt daarom niet juist om met Van den Akker et al. (1964) het lemige zand, dat in de gleygronden van Salland aan of nabij de oppervlakte ligt, tot het Lemige oude dekzand, daterend uit het Boven-Pleniglaciaal te rekenen. De zanden dateren waarschijnlijk uit latere perioden, namelijk uit de Bølling- of uit de Oude Dryastijd. De minder lemige zanden, die boven de Oude dekzanden in de gleygronden voorkomen, zouden dan tijdens de Oude Dryastijd zijn afgezet en behoren dan tot het Jonge dekzand I. De laagdikte en daarmee de betekenis van deze afzettingen is gering.

Tabel 19. Analysegegevens van het ijzeroer-moeraskalkprofiel Koordes / Analytical data of the iron ore bog lime profile Koordes.

Nummers No in Fig. 36	Diepte Depth in cm	Monster / Sample	pH- KCl	% van de grond % of soil		Granulaire samenstelling % Particle size distribution				CaO, meq per 100 g grond	
				CaCO <sub>3</sub>	humus orig. matter	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-2 µm	0-50 µm	50-150 µm	150- 2000 µm	CaO, meq per 100 g soil
1	0-8	A1g									
2	8-22	C11g, rodoornig / iron ore	5,2	0,0	15,2	17,42	17	32	29	39	-
3	22-50	C12g, sterk roestig / many iron mottles	6,0 6,3	0,3 0,1	11,6 1,2	65,36 13,30	17 15	29 21	22 56	49 23	-
4	50-57	C13g, rodoornig / iron ore	6,3	0,3	5,0	22,83	20	46	42	12	-
5	57-65	C21g, moeraskalk / bog lime	8,1	83,2	2,7	3,21	33	48	40	12	1634
6	57-65	C21g, moeraskalk / bog lime	8,1	77,7	2,0	1,86	29	53	30	17	-
7	65-100	C22g, leem / loam	7,9	7,5	0,6	0,72	4	14	69	17	-
8	100-102	G1, kalkrijk laagje / calcareous layer	7,9	18,4	1,0	0,66	5	21	66	13	-
9	102-150	G2, leem / loam	7,7	27,8	2,8	2,43	13	63	35	2	-
10	152-170	G4, leem / loam	7,1	29,8	5,0	6,14	13	46	51	3	444
11	170-175	G5, grof zand / coarse sand	8,4	0,9	0,1	0,33	4	4	8	88	-
12	80-100	kalkarm dekzand / slightly calcareous coversand	7,8	0,5	0,2	0,38	4	8	44	48	-
13	130-150	kalkhoudend dekzand / calcareous coversand	8,5	2,0	0,5	0,35	2	5	55	40	-

1. Oplosbaar in 10% HCl / Soluble in 10% HCl.

## 6.6 Organische stof

Tijdens het Laatglaciaal vond reeds enige plantengroei en daarmee een bescheiden produktie van organische stoffen plaats. Dit blijkt uit de geringe omvang van de humeuze en venige lagen uit deze periode. Gedurende het Holoceen was er een veel intensievere vegetatie, die een grote hoeveelheid organische stof produceerde. Daarvan resteert thans, als gevolg van afbraakprocessen, een klein deel. Meestal betreft dit de kleine hoeveelheid organische stof in de humeuze bovengronden van de gleygronden, in andere gevallen is er sprake van veenvorming. Het is vrij zeker dat de elen in de vegetatie van de gleygronden overheerste. De tamelijk goede eigenschappen van de thans nog in de gleygronden aanwezige organische stof moet vooral hieruit worden verklaard (Hfdst. 7).

## 6.7 Lutum

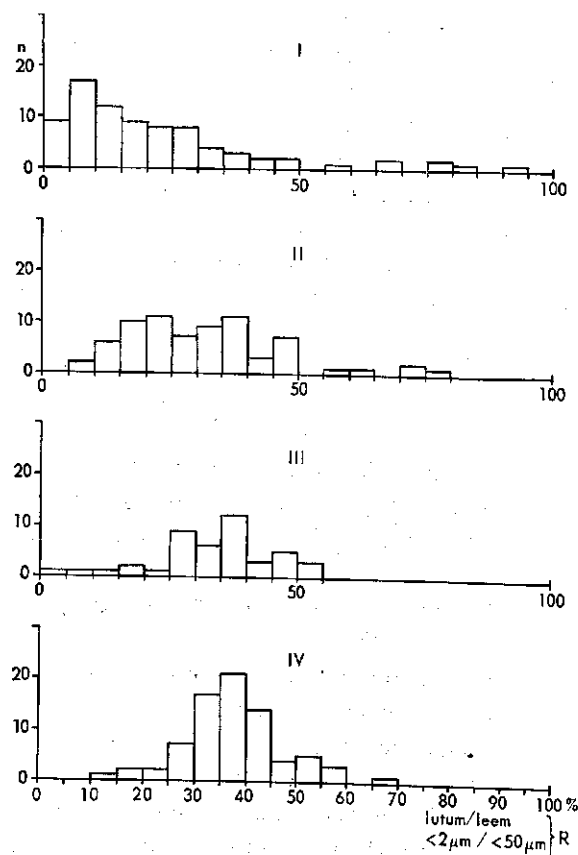
De gleygronden hebben een hoger lutumgehalte dan de humuspodzolen (fig. 37). Ook de lutum/leem-verhouding is hoger en komt vrij dicht bij die van de mengelen en rivierkleigronden. Dit is een aanwijzing dat de gleygronden althans gedeeltelijk een fluviatiele ontstaanswijze hebben.

Er past enige reserve ten aanzien van de betrouwbaarheid van de analysecijfers, omdat een hoog lutumgehalte in de gleygronden vaak blijkt samen te gaan met een hoog ijzergehalte. Waarschijnlijk bestaat de fractie  $< 2 \mu\text{m}$  in deze gevallen slechts ten dele uit kleimineralen en voor het overige uit ijzeroxyden en -hydroxyden. In fig. 37 zijn daarom alleen monsters met lage ijzergehalten opgenomen.

De lutumdeeltjes zijn ten dele van eolische herkomst en als onderdeel van de dekzanden aangevoerd. Een ander deel is afkomstig van het overstromingswater van de beken en kleine rivieren (tabel 18, nr. 13). Deze verklaring van de herkomst van de lutumfractie is onvoldoende in het geval van bijv. de kleine beken in de dekzandgebieden, daar, ook bij het uiterste begin van de beekdalen, waar een fluviatiele sedimentatie is uitgesloten, soms relatief grote hoeveelheden lutum worden aangetroffen. Wel bestaat hier de mogelijkheid van colluvatie, daar de hellingen langs de beekdalen soms nogal steil zijn, in de Vloedgraven tot 5%. Na verspoeling en uitsortering zijn de lutumdeeltjes ten slotte op bepaalde plekken in de beekdalen terecht gekomen.

Volgens de verschillende verklaringen zou dus het zeer weinig lutum bevattende dekzand de bron voor de relatieve lutumrijkdom van de gleygronden zijn. In par. 9.4 wordt nog op een andere mogelijkheid, namelijk die van autogenese, ofwel neogenese, gewezen. Uit van elders, bijv. door het grondwater, aangevoerde verweringsprodukten zouden nieuwe kleimineralen kunnen ontstaan, waarvoor de restanten van primaire mineralen als kern zouden fungeren.

Fig. 37. Lutum-leemverhouding van een aantal gronden in Salland. / Clay-loam ratio (percentage  $< 2\mu\text{m}$  / percentage  $< 50\mu\text{m}$ ) of a number of soils in Salland.



I. humuspodzolgronden / humuspodzol soils

II. gleygronden, voornamelijk bovengronden, exclusief rodoornige gronden / coversand gley soils, mainly topsoils, excluding rodoorn soils

III. mengelgronden / sandy riverclay soils

IV. rivierkleigronden / riverclay soils

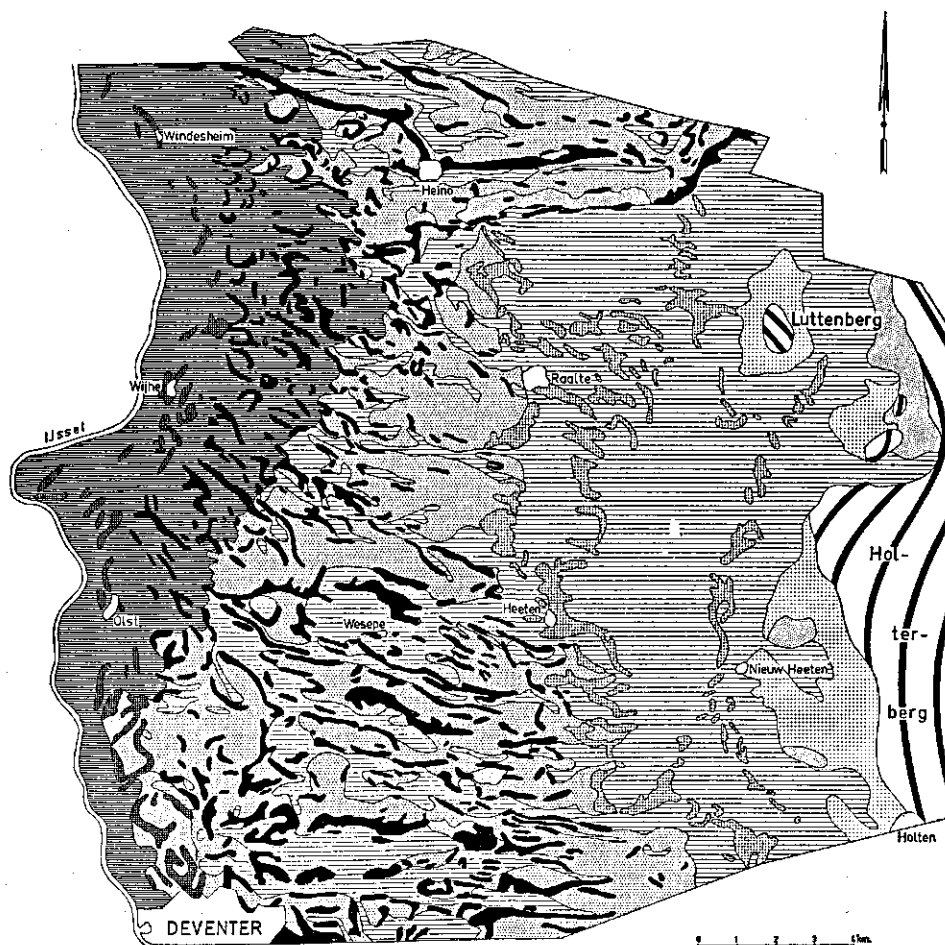
Gem. van R	Gem. lutumgehalte
Mean of R	Mean clay content
23	2.9
32	8.4
35	11.2
38	24.9










## 6.8 Geomorfologie

Het Fluviatiele laagterras vormt de basis van het landschap van Salland. Deze afzetting behoort bij het systeem van de vlechtende rivier en heeft een algemene helling naar het noorden van ongeveer 30 cm / km, wat iets meer is dan Pons (1954) en Pons & Wiggers (1958) opgeven (Hamming et al., 1965).

Bij de afname van het debiet van de rivier tijdens het Pleniglaciaal traden verstuijvingen van zand uit de riviervlakte op, waarbij enkele zuid-noord gerichte reeksen

Fig. 38. Geomorfologische kaart van Salland (ontleend aan van den Akker, Knibbe & Maarleveld, 1964). / Geomorphological map of Salland (from van den Akker, Knibbe & Maarleveld, 1964).



-  rivierafzettingen / river deposits
-  stuifzand / Holocene blown sand
-  rivierduinen, grotendeels van holocene ouderdom / river dunes, mainly of Holocene age
-  vrij vlak gelegen jong-dekzandgebied / rather flat Younger coversand region
-  dekzandruggen / coversand ridges
-  Lemig oud dekzand aan of nabij de oppervlakte / Loamy older coversand at or near the surface
-  oude rivierduinen bedekt door Lemig oud dekzand en jong dekzand
-  hoog dekzandgebied nabij stuwwallen / high lying coversand region near push moraines
-  stuwwal / push moraine

van zwakke terreinverheffingen werden gevormd (fig. 38). Deze 'oude rivierduinen' (Van den Akker et al., 1964) en de tussenliggende vlakten werden vervolgens door Lemig oud dekzand bedekt. In het oosten van Salland zijn beide afzettingen thans nog in het landschap herkenbaar. Voorbeelden van de brede laagten zijn het gebied ten oosten van Heeten en Raalte, het Hellendoornsche Broek en het Schanenbroek.

In het westen van Salland kwamen nadien nog belangrijke afzettingen van het Jonge dekzand tot stand, die tot ongeveer 10 km ten oosten van de huidige IJssel reiken (fig. 38). Dit zand ligt overwegend in de vorm van vlakke plateau's, geaccentueerd door dekzandruggen en van elkaar gescheiden door beekdalen. De ruggen liggen opmerkelijk vaak op de randen van de plateau's, langs de beekdalen. De drie elementen van dit deel van het landschap van Salland hebben een duidelijk westelijke tot noordwestelijke strekking. Het bodemgebruik is sterk aan de landschappelijke vormen aangepast. De hogere delen van het landschap dragen bouwlanden en bossen, de lagere delen graslanden met langs de sloten opgaand hout, bijv. eiken, elzen en wilgen. Er ontstaat op deze wijze een coulisseneffect, dat duidelijk te zien is wanneer men van Deventer via Wesepe en Raalte naar Heino reist.

De oorspronkelijk noordelijk gerichte afwatering werd tijdens het Laatglaciaal door de oost-west ruggen geblokkeerd en naar het westen gericht. In het kaartbeeld zijn dergelijke barrières, bijv. die van Heino-Lemelerveld, terug te vinden.

Het is opmerkelijk dat de beekdalen een verhang hebben van 50 cm/km, hetgeen dus groter is dan dat van het Fluviatiele laagterras. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk tweeledig. In de eerste plaats werd in het oosten van Salland meer Oud dekzand afgezet dan in het westen. In de tweede plaats hebben de grote rivieren zich in bepaalde perioden ingesneden in de oudere afzettingen. Ter Wee (1966) vermeldt, dat in het gebied van Steenwijk een belangrijke erosie plaats vond tijdens het begin van het Pleniglaciaal. In Salland vonden ook in het Laatglaciaal nog fluviatiele erosie en sedimentatie plaats. Dit bleek fraai in de ontsluiting te Spoolde uit het naast elkaar voorkomen van fluviatiele en eolische sedimenten, beide daterend uit het Laatglaciaal (Hamming, Knibbe & Maarleveld, 1965). Ook in het zuidoosten van Salland komt erosie van Lemig oud dekzand en insnijding van beekdalen voor (mond. meded. Prof. Dr. G. C. Maarleveld). De Leenheer et al., (1966) delen mede, dat in Oost-Vlaanderen tijdens het Laatglaciaal en het Boreaal eveneens insnijding van beekdalen en erosie plaatsvond. De terugschrijdende erosie in de beekdalen heeft mede geleid tot het grotere verhang daarvan. Een ander gevolg is het iets grotere reliëf in het westen. Tevens kan nu de herkomst van de Jonge dekzanden beter worden verklaard: het zand is uit de geleidelijk dieper wordende beek- en rivierdalen geblazen en tot ruggen opgevaaid.

Belangrijke delen van het laatglaciale landschap van westelijk Salland werden tijdens het Holoceen met veen en rivierklei bedekt. De hoogste delen van het oorspronkelijke landschap zijn in de vorm van dekzandruggen of bijv. de paraboolduinen ten zuidoosten van Windesheim, nog herkenbaar. Ook ontstonden in deze tijd de zandverstuivingen, zoals die bij Heino, en de rivierduinen langs de IJssel (fig. 38).

Op veel dekzandruggen en koppen zijn oude bouwlanden aangelegd, hetgeen het



reliëf versterkte. In recente tijd zijn talloze, meestal lokale zandafgravingen en egalisaties uitgevoerd, die een vervlakking van het landschap ten gevolge hadden.

## 7 Humeuze bovengrond

### 7.1 Inleiding

In de nu volgende hoofdstukken zal aandacht worden besteed aan de bodemvorming in de gleygronden. Als eerste aspect daarvan wordt de humeuze bovengrond behandeld, vooral omdat de aanwezigheid van organische stof in de bodem een belangrijke voorwaarde is voor het gehele bodemvormingsproces.

### 7.2 Begroeiing

De organische stof in de A1-horizont is het eindproduct van de vertering van het strooisel van de vegetatie gedurende een lange periode.

Er zijn weinig gegevens beschikbaar over de specifieke vegetatie van de gleygronden tijdens het Pleistoceen. Ondanks de talrijke ontsluitingen zijn er nauwelijks gleygronden aangetroffen, die reeds tijdens het Laatglaciaal werden afgedekt en aldus geconserveerd. Dit betekent dat er tijdens het Pleistoceen nauwelijks gleygronden ontstonden, dan wel dat deze gleygronden thans nog aan de oppervlakte voorkomen. In het laatste geval zullen zij zeer sterk door de holocene vegetatie zijn beïnvloed. De pollen-diagrammen zullen dan vooral een afspiegeling van het Holocene geven.

De profielen Spoolde Noord en Koordes (fig. 34 en 35) tonen door dekzand bedekte venige en lemige lagen zonder de kenmerken van podzolgronden. Wanneer deze profielen als 'pleistocene gleygronden' worden beschouwd, zijn de pollendiagrammen mogelijk representatief voor de vegetatie van de gleygronden in het Laatglaciaal. Het blijkt dat 15 tot 20% van het totaal pollen uit boompollen bestaat, waarin *Salix* en *Betula* overheersen. Er komt een klein percentage *Pinus* voor en verder vrijwel verwaarloosbare percentages *Alnus*, *Corylus* en *Quercus*. In het niet-boompollen komen vooral *Cyperaceae* (35-45%) en *Gramineae* (15-25%) voor.

Havinga (1957, 1962) bestudeerde op diverse plekken in het land de vegetatie van een aantal bodemprofielen, die dateren uit verschillende perioden van het Holocene. Hij concludeert dat de gleygronden en daarmee overeenstemmende gronden, voor zover tijdens het Atlanticum door veenlagen afgedekt, een elzenbos droegen. Het aandeel van de elsen in het totaal boompollen bedraagt 40-70%. In de andere onderzochte profielen, meestal podzolen, ontbrak de typische elzenoverheersing. Slechts één bijna verdrongen, oorspronkelijk vrij droog podzolprofiel vormde een uitzondering hierop. Verder bleek, dat de *Ericaceae* in de humuspodzolen zeer veel voorkomen en in de gleygronden nagenoeg ontbreken.

Hoewel gegevens over de vegetatie van de gleygronden in de latere delen van het Holoceen ontbreken, is het waarschijnlijk dat de els zijn overheersende positie steeds heeft behouden. Interessant zijn in dit verband de gegevens over het Beekbergerwoud, het laatste historisch bekende elzenwoud op gleygronden in Nederland, dat omstreeks honderd jaar geleden werd gekapt. Van Spreekens (1870) vertelt in zijn verslag van de ontginning over de reusachtige elzen, waarvan hij eens een stoof, bestaande uit zeven stammen met een gemiddelde diameter van 130 cm en hoogten van 14 tot 17 meter vond. In de huidige tijd is de els de meest voorkomende boom in het gleygrondenlandschap, waar hij in de regel langs de sloten wordt gevonden. In mindere mate worden populieren en wilgen aangetroffen. Remezov (1962) vermeldt, dat de laanwouden langs de Westrussische rivieren, waar 'low humic gley soils' voorkomen, voornamelijk uit elzen bestaan.

De ontbossing en de ontginning van de gleygronden heeft reeds lang geleden, geruime tijd voor die van de humuspodzolen, plaats gehad. Grassen en andere kruiden, waaronder zegge, op natte, slecht onderhouden percelen, vormen thans de overheersende vegetatie.

### 7.3 Humusgehalte

Het gehalte aan organische stof van de humeuze bovengrond varieert aanzienlijk. De zwarte gleygronden hebben in de regel 5 tot 10% humus; de venige hebben hogere gehalten, in het algemeen van 15 tot 35%; de bruine gleygronden en de roodoornige gleygronden hebben dikwijls gehalten lager dan 5%. De verdeling van de organische stof over de horizont is meestal regelmatig, maar het bovenste deel, de graslandzode, heeft een beduidend hoger gehalte. Sommige gleygronden met een zeer dunne A1 vertonen een sterke afname van het humusgehalte met toenemende diepte. De dikte van de humushoudende bovengrond is in Salland in de regel ongeveer 20 cm, elders dikwijls 30-40 cm.

De hoeveelheid organische stof in de A1 van de gleygronden varieert sterk. Gemiddeld is er bij een gewichtspercentage van  $7\frac{1}{2}$  en een laagdikte van 20 cm ongeveer 250 ton droge stof per hectare aanwezig. De totale hoeveelheid die gedurende het gehele Holoceen werd gevormd, is moeilijk bij benadering aan te geven. Het is evenwel duidelijk dat daarvan nu nog maar een klein deel over is, de rest is gemineraliseerd.

### 7.4 Kleur

De A1g-horizont van de gleygronden is gewoonlijk zwart (10YR 2/1), in droge toestand wat lichter, nl. zeer donker grijs of donkergrijs (10YR 3/1 of 4/1). De lemige laag, die soms aan de onderzijde van de A1g wordt gevonden, is donkergrijs. In het algemeen is de horizont homogeen van kleur. De grijze gebleekte zandkorrels, die vooral in droge toestand opvallen, de wortels en vooral de roestvlekken geven aan de horizont evenwel een min of meer gevlekt voorkomen.

De sterk humeuze en venige bovengronden zijn in de regel zwart, de zwak humeuze

zijn veel lichter, bijv. grijs (10YR 5/1). De bruine gleygronden hebben dikwijls een zeer donker grijsbruine kleur (10YR 3/2).

De kleuren van de gronden worden vooral bepaald door de organische stoffen en door de ijzerverbindingen (Pons, 1957; Zonneveld, 1957). Toenemende gehalten aan organische stof leiden in het algemeen tot een lagere value (donkerder kleur). Een toename van de hoeveelheid ijzerverbindingen heeft vaak een bruine tot roodbruine kleur tot gevolg.

Het verband tussen value en humusgehalte van een groot aantal zandige gronden in Overijssel wordt gegeven in fig. 39. Lage values gaan samen met hoge gehalten aan organische stof, hoge values (lichtere kleuren) corresponderen met lage humusgehalten. Zoals in de figuur is aangegeven, heeft ook het lutumgehalte enige invloed. Het verband tussen value en humusgehalte ligt voor de hand, daar de minerale delen in zandige gronden, afgezien van de ijzerverbindingen, voornamelijk uit kleurloze kwarts bestaan en de organische stof een zwarte tot zeer donker bruine kleur heeft. Evenals bij het mengen van een donkere kleur door een lichte, neemt de invloed van een stijgend humusgehalte op de value geleidelijk af naarmate de hoeveelheid reeds aanwezige organische stof groter is. Behalve de hoeveelheid zou ook de micromorfologie van de humus van invloed op de kleur kunnen zijn. Voor humuspodzol-B-horizonten waarvan de organische stof morfologisch afwijkt van die van de meeste bovengronden, werd evenwel nagenoeg dezelfde relatie gevonden.

Het verband tussen het ijzergehalte en de kleur is minder eenvoudig, omdat het ijzer in zeer verschillende verbindingen en vormen voorkomt, bijv. als twee- en driewaardig ijzer, als oxyde en hydroxyde, gebonden aan organische stoffen, in grote en kleine concreties, in vlekken en vlammen of fijn homogeen verdeeld. Wanneer het ijzer voorkomt in sterke concentraties in de vorm van veel roestvlekken of concreties,

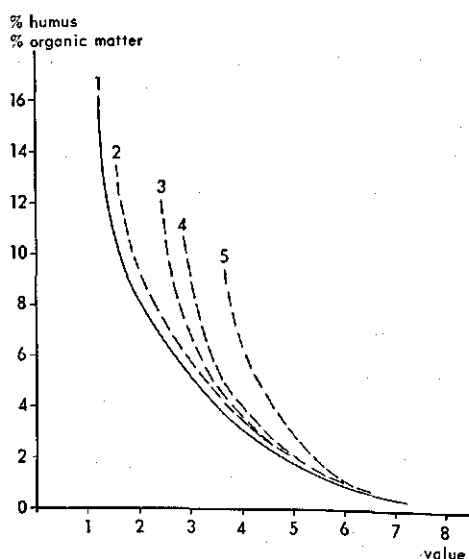


Fig. 39. Relatie tussen humusgehalte en value (Munsell) in een aantal zandgronden in Overijssel (naar Knibbe, 1959). / Relation between organic matter content and colour value in sandy soils in Overijssel (from Knibbe, 1959).

1. Humuspodzolgronden, Moderpodzolgronden, Enkeerdgronden en gleygronden met hoogstens 8% lutum, 254 monsters / Humuspodzol soils, Moderpodzol soils, Enk earth soils and coversand gley soils with 8% clay or less, 254 samples

2. gleygronden met 0- 5% lutum, 31 monsters  
gley soils with 0- 5% clay, 31 samples

3. idem / do. 5- 8% 18

4. idem / do. 8-12% 16

5. idem / do. > 12% 24

zoals in rodoornige horizonten, zijn de kleuren meestal bruin tot roodbruin. Het chroma is dan 2 tot 5, de value omstreeks 5 en de hue  $7\frac{1}{2}$  of 5YR. Bij een meer homogene verdeling van het ijzer, zoals bij de bruine gleygronden, is de kleur min of meer bruin, of zoals bij sommige rodoornige horizonten, roodbruin. Hoewel in het algemeen een hoog ijzergehalte samengaat met bruine tot rode kleuren, zijn hierop belangrijke uitzonderingen. Zo zijn er zwarte, sterk humeuze horizonten, die meer dan 10%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bevatten (Knibbe & Van den Akker, 1966) en geelbruine tot roodbruine horizonten, die vrijwel ijzerloos zijn (humusinspoelingshorizonten).

## 7.5 C/N-quotiënt

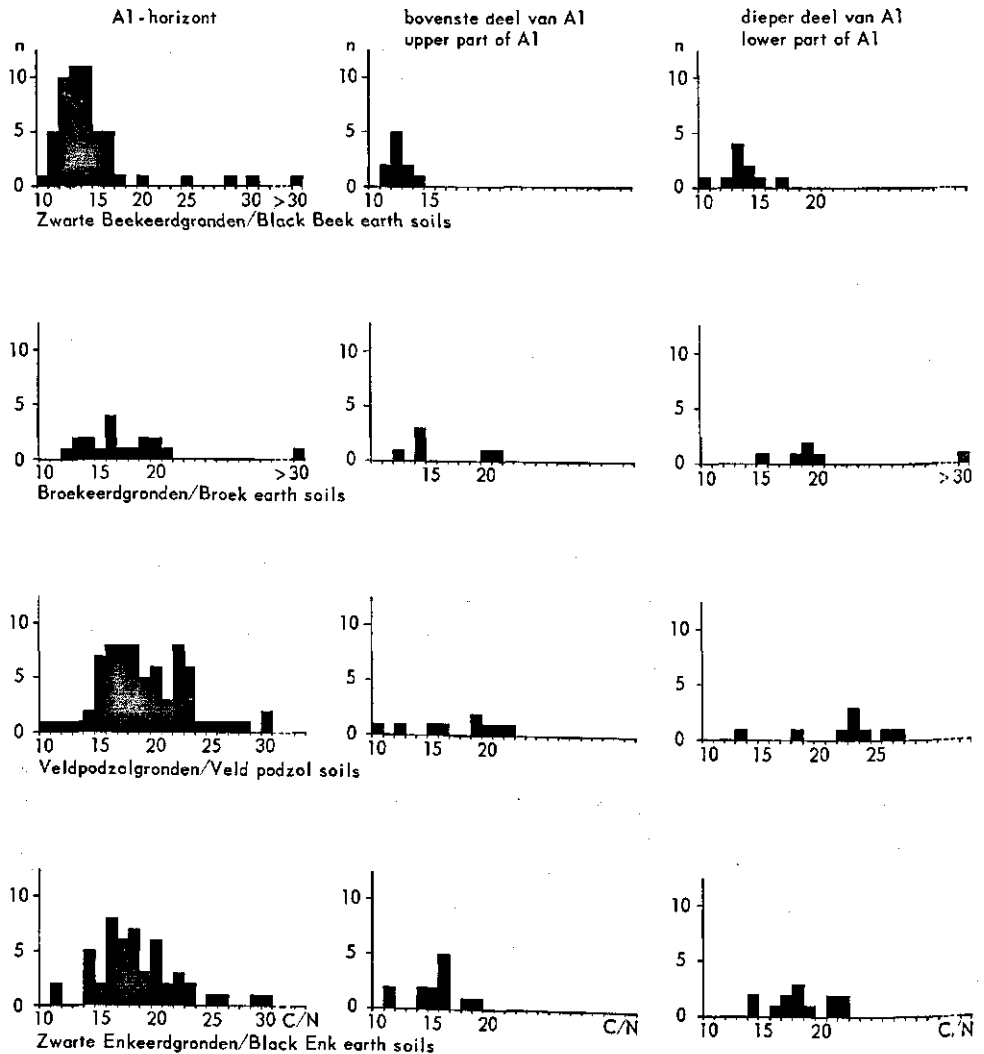
De organische stof in de bodem kan o.a. worden gekarakteriseerd met de koolstof-stikstofverhouding. In het linker deel van figuur 40 zijn de frequentieverdelingen van het C/N-quotiënt van een aantal zandgronden gegeven. In de Zwarte Beekeerdgronden is het 11 tot 16 en daarmee het laagst in vergelijking met de andere gronden. In de Broekeerdgronden is het C/N-quotiënt 13 tot 21, in de Veldpodzolgronden 15 tot 23 en in de Zwarte Enkeerdgronden 14 tot 23. Het blijkt dus, uitgaande van een ideale koolstof-stikstofverhouding van 10, dat de humus van de gleygronden als relatief gunstig kan worden aangemerkt.

In het rechter deel van figuur 40 is schematisch het verloop van het C/N-quotiënt met de diepte aangegeven. Het blijkt dat er een zekere stijging voorkomt, waarop eerder door Knibbe & Marsman (1958) werd gewezen. De Roos (1962) zegt, dat dit verschijnsel ook in andere gronden werd aangetroffen, maar dat ook veel gevallen bekend zijn waarbij het C/N-quotiënt met de diepte afneemt.

Bij het veldwerk wordt soms een onderscheid gemaakt tussen 'milde' en 'wrede' humus, welke begrippen worden geassocieerd met goede en minder goede eigenschappen. De grens komt ongeveer overeen met een C/N-quotiënt van 17 (Knibbe & Marsman, 1958). De humus van de gleygronden wordt in de regel mild genoemd.

Omdat verse organische stof meestal een hoog tot zeer hoog C/N-quotiënt heeft en omdat het C/N-quotiënt van de gleygronden tamelijk dicht bij de ideale waarde van 10 ligt, zou men kunnen concluderen, dat in de gleygronden een intensieve omzetting van de organische stof heeft plaatsgehad. Het strooisel van de els, de boom die het meest typerend is voor deze gronden, bevat evenwel volgens Wittich (1953) ruim 3% stikstof, berekend op de asvrije droge stof. De els heeft hiermee van alle genoemde boomsoorten (44) het op twee na hoogste stikstofgehalte. In overeenstemming hiermee heeft de ruwe organische stof van de els het bijzonder lage C/N-quotiënt van 16,6. Het ligt voor de hand om te veronderstellen dat dit in verband staat met de stikstof-fixatie in de wortelknolletjes, die behalve bij leguminosen ook bijv. bij duindoorn, gagel en els voorkomt (Becking, 1967). Globaal gesproken is er dus slechts een geringe chemische omzetting vereist om van de verse organische stof met  $\text{C/N} = 16,6$  tot humus met  $\text{C/N} = 14$  te komen. Behalve de aard van het elzenstrooisel kan ook de relatieve voedselrijkdom van de gleygronden tot de betrekkelijk gunstige eigenschappen van de humus hebben bijgedragen.

Fig. 40. Frequentieverdelingen van het C/N-quotiënt (gedeeltelijk naar Knibbe & Marsman, 1958). De gegevens in de middelste grafieken zijn van dezelfde monsterplaatsen afkomstig als die in de rechter grafieken. / Frequency of carbon nitrogen ratios (mainly from Knibbe & Marsman, 1958). The data in the centre group of graphs refer to the same sample sites as those in the right group.



## 7.6 Micromorfologie

In veel lage natte gronden komt een humusvorm voor, die meestal met de Duitse term Anmoor wordt aangeduid. Jongerius (1961) vertaalde deze term met 'semiterrestrische zoëgene humus'. Kubiena (1953) omschrijft Anmoor als een semiterrestrische humusvorm, die ontstaat bij permanente, althans langdurige, verzadiging met water. Het materiaal heeft een hoog gehalte aan minerale delen, is gyttja-achtig en be-

staat uit een zwart tot donkergrijs mengsel van minerale delen en mechanisch verkleinde, fijn verdeelde, goed gehumificeerde excrementen van waterdieren. De hogere planten, die in de betreffende laag wortelen, leveren regelmatig verse organische stof. Anmoor heeft een inktachtige geur, de structuur is in zeer natte toestand zeer slap en in droge toestand aardachtig. Jongerius (1961) voegt hier o.a. aan toe, dat de omgrenzungen van de coprogene deeltjes dikwijls zeer vaag zijn en dat de binding met de minerale deeltjes zeer zwak is; de Anmoor heeft dan ook een geringe stabiliteit. Hij illustreert dit met het gedrag van meermolm. Wanneer grasland waarin Anmoor voorkomt, wordt gescheurd, gaat de humus vervloeien; dat wil zeggen, dat de organische stof en de minerale delen worden gescheiden, waarna ze in beweging komen en afzonderlijk in verschillende laagjes accumuleren.

Behalve Anmoor zijn ook ruwe humus, mull en moder in de gleygronden gevonden, zoals is gebleken tijdens een micromorfologisch onderzoek van een aantal bodemprofielen in de omgeving van het proefgebied Vloedgraven<sup>1</sup>.

Het eerste bodemprofiel betreft een Broekeerdgrond, gelegen in een bos met voornamelijk elzen. De A0 (+2-0 cm) bevat sterke vraatsporen, ruwe moder en humuskruimels, welke laatste deels uit vervallen moder bestaan. De A11g (0-13 cm) bestaat uit sterk geaggregeerde, 1 à 2 cm grote muldeeltjes (wormexcrementen), waarbinnen een matige binding tussen de organische stof en de minerale deeltjes bestaat. De A12g-horizont (13-22 cm) bestaat uit sterk gedeformeerde mullaggregaatjes. De algemene indruk is dat er een snelle vertering van het strooisel door bodemdieren heeft plaatsgevonden, achtereenvolgens verlopend van mechanische verkleining via moder naar mull. Dit bodemprofiel kan, wat de morfologie van de humus betreft, worden gekarakteriseerd als een natte zandige mull met een strooisellaag.

Het tweede profiel is een Zwarte Beekeerdgrond met een kleidek, gelegen in een elzenbos. Micromorfologisch bestaat de humus uit een zeer instabiele mull, die naar beneden overgaat in een zwakke Anmoor. De A0 (+2-0 cm) bevat vraatsporen met ruwe moder, humuskruimels en losse zandkorrels. De A11g (0-17 cm) bevat pleksgewijs slechte mull naast blank zand en soms uiteenvallende moder. De binding tussen zand en organische stof is matig. De A12g-horizont (17-27 cm) bevat zwakke Anmoor.

Het derde profiel betreft een Zwarte Beekeerdgrond met een kleidek en een rodoornige laag onder de A1, gelegen in een laag gedeelte van een beekdal, met sterk vertrapt grasland. De A11g (0-5 cm) bevat grote complexen organische stof, met daarin los voorkomende zandkorrels. De werking van bodemdieren is hier morfologisch nauwelijks waarneembaar. Er is duidelijk sprake van Anmoor. Naar beneden neemt de omvang van de grote donkere plekken met organische stof af. De A12g vertoont hetzelfde beeld. Het profiel wordt gekarakteriseerd als een natte Anmoor.

1. Dit onderzoek werd verricht door Dr J. Schelling en Dr A. Jongerius, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Dankbaar wordt gebruik gemaakt van de gelegenheid om de voorlopige resultaten hier te vermelden.

Tabel 20. Globale rangschikking van de gleygronden en enkele andere gronden volgens afnemende eutrofie. / General ranking of coversand gley and some other soils according to decreasing eutrophy.

	Rivierkleigronden River clay soils	Beekkleigronden Brook deposit soils	Zwarte Beekgronden Black 'Beek' earth soils	Gooreldgronden 'Goor' earth soils	Veldpodzolgronden 'Veld'podzol soils
lutumgehalte clay content	hoog high	hoog high	laag low	zeer laag very low	zeer laag very low
pH	hoog high	matig moderate	matig-laag moderate-low	laag low	laag low
basenverzadiging base saturation	hoog high	hoog high	matig moderate	laag low	laag low
koolstof stikstof verh. carbon nitrogen ratio	laag narrow	laag narrow	matig moderate	hoog wide	hoog wide
micromorfologie v.d. humus micromorphology of org. matter	mull	mull-anmoor	anmoor	moder	moder
	eutroof eutrophic		mesotroof mesotrophic		oligotroof oligotrophic



Het laatste profiel is een rodoornige Vlakvaaggrond met een kleidek, liggend op de flauwe helling van het beekdal, het bodemgebruik is eveneens grasland. De humeuze bovengrond is sterk gehomogeniseerd. De oorspronkelijke humusvorm is Anmoor, maar er is blijkbaar een homogenisatieproces aan de gang, waarbij de onderliggende rodoornige laag door bodemdieren met de humeuze bovengrond wordt vermengd.

Uit het onderzoek van deze vier gronden blijkt, dat het bodemgebruik van invloed is op de humusvorm. Onder bos komen vooral min of meer stabiele ruwe humus, mull en moder voor. Onder gras wordt vooral Anmoor gevonden. Blijkbaar kan zich in beboste gronden een zekere variatie in humusvormen ontwikkelen, terwijl op de graslanden, mogelijk als gevolg van beweiding en vertrapping, een vernieling van structuurelementen, humuskruimels en excrementen plaatsvindt, zodat nog slechts Anmoor wordt gevonden. De onderzochte gronden hebben, hoewel het lutumgehalte van omstreeks 10% in vergelijking met de meeste gleygronden vrij hoog is, weinig stabiele humusvormen. Het zijn alle lage natte gronden, waarvan de gemiddelde hoogste grondwaterstanden naar schatting 0-10 cm beneden maaiveld liggen. Er is daarom een grote kans op vertrapping, hetgeen uiteraard niet bevorderlijk is voor het ontstaan en de handhaving van goede structuren.

De hoeveelheid herkenbare planteresten is steeds zeer gering of nihil en de variatie van de diverse humusvormen met de diepte is vrij groot. Kennelijk wordt de ruwe organische stof zeer snel omgezet, hetgeen mogelijk in verband staat met het zeer lage C/N-quotiënt van het uitgangsmateriaal.

## 7.7 Samenvatting

De natuurlijke vegetatie op de gleygronden is vooral gekenmerkt door de elms, die een stikstofrijk strooisel levert. De verse organische stof wordt snel omgezet tot een humus met een laag C/N-quotiënt. De humusvormen zijn tamelijk instabiel; onder natuurlijke omstandigheden zijn dit vooral mull en moder, onder grasland Anmoor. Vooral de lage natte ligging van de gronden en ook het lage lutumgehalte zijn waarschijnlijk de oorzaken van de geringe stabiliteit van de humusvormen.

De gleygronden kunnen met een aantal andere gronden worden opgenomen in een reeks, die zich uitstrekt van eutroof via mesotroof naar oligotroof. Hierbij zijn ook gegevens over de pH en de basenverzadiging, vermeld in hoofdstuk 8, betrokken (tabel 20). De reeks is sterk schematisch, mede omdat de gegevens op sommige punten onvolledig zijn. Ook hebben sommige gleygronden geen bepaalde plaats in de reeks. Een deel van de Broekeerdgronden bijv. is min of meer eutroof, andere evenwel zijn mesotroof tot oligotroof.

De meest eutrofe gleygronden zijn de beekkleigronden (Vlakvaaggronden met een kleidekje), gronden dus, die relatief veel lutum bevatten. De humus heeft een mild karakter en een laag C/N-quotiënt, de basenverzadiging en de pH zijn tamelijk hoog. Er is dus veel overeenkomst met de rivierkleigronden. Andere gleygronden, zoals sommige Gooreerdgronden, zijn min of meer oligotroof. De pH en de basenverzadiging zijn laag, het C/N-quotiënt is hoog en de humus wordt als wreed gekarakteriseerd.

seerd. Ze hebben in deze opzichten veel overeenkomst met de Veldpodzolgronden. De meest voorkomende gleygronden, de Zwarte Beekeerdgronden, nemen een tussenpositie in, het zijn typisch mesotrofe gronden.

## 8 Kalk, pH en basenverzadiging

### 8.1 Inleiding

Er is alle reden om aan te nemen, dat de gleygronden oorspronkelijk koolzure kalk bevatten en dat, in overeenstemming hiermede, de basenverzadiging en de pH tamelijk hoog waren. Bij de bodemvorming werd de kalk vrijwel geheel afgevoerd en daalden basenverzadiging en pH in de bovengrond tot ongeveer 50% en 4. Recente bemesting, o.a. bekalking, heeft weer tot enige verhoging geleid. Op een zeer beperkt aantal plekken wordt op geringe diepte een bijzondere kalkconcentratie aangetroffen, die bekend staat als moeraskalk of kalkgyttja.

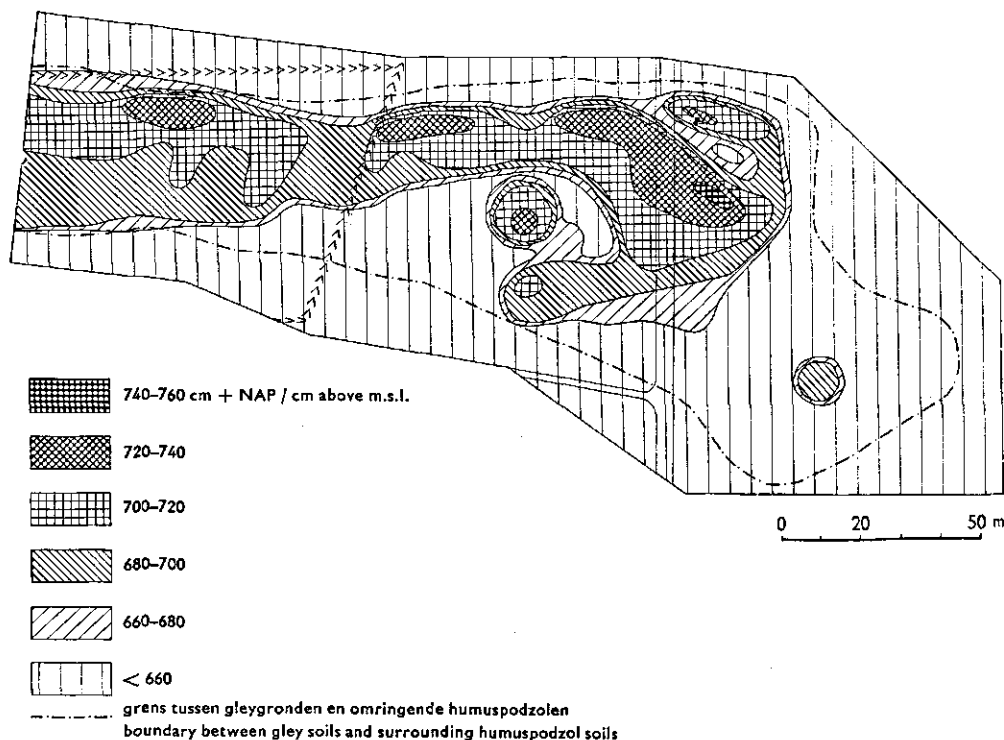
### 8.2 Ontkalking

In de gleygronden van Salland wordt op 120 tot 200 cm beneden maaiveld koolzure kalk aangetroffen. Hoewel de diepteligging ongeveer overeenkomt met de bovenzijde van het Fluviatiele laagterras is het onwaarschijnlijk, dat er een direct verband bestaat. In veel gevallen komt namelijk nog kalk in het bovenliggende dekzand voor, vaak echter zijn ook de bovenste lagen van het Fluviatiele laagterras kalkloos.

In het proefgebied Vloedgraven werd, met behulp van een groot aantal diepe boringen, de ligging van de kalkgrens in kaart gebracht (fig. 41, 42 en 43). In de gleygronden blijkt deze op omstreeks 150 cm beneden maaiveld voor te komen, in de humuspodzolen, zowel ten opzichte van maaiveld als van NAP, dieper. De kalkgrens ligt in gronden met ijzeroer hoger dan in gronden zonder ijzeroer, zoals door Pons (1959) in Velsen geconstateerd is en zoals ook het geval is in Vloedgraven (fig. 43) en Koordes (fig. 36). In het profiel van Koordes ligt de kalkgrens in de leemopvulling op 57 cm en daarnaast, in het dekzand, op ongeveer 120 cm diepte. De kalkloze ijzeroerafzetting gaat op 57 cm diepte abrupt over in moeraskalk, die slechts weinig ijzer bevat. Dit wijst erop, dat de uitspoeling van kalk minder sterk is op plaatsen met ijzeroer. Mede doordat de accumulatie van ijzerverbindingen een gevolg is van een opwaarts gerichte grondwaterstroming (hoofdstuk 10), zijn op deze plekken de mogelijkheden voor afvoer van kalk geringer dan elders. Onder bepaalde omstandigheden kan deze grondwaterstroming zelfs leiden tot kalkaccumulatie (par. 8.3).

Hamming, Knibbe & Maarleveld (1965) beschreven een geulopvulling te Spoolde, bestaande uit kalkhoudende zandige leem, omgeven door kalkloos dekzand en daterend uit het Laatglaciaal. Zij veronderstellen, dat het dekzand ten gevolge van de grotere doorlatendheid werd ontkalkt, de zandige leem, zowel als gevolg van het oor-

Fig. 41. Proefgebied Vloedgraven, bovengrens van de kalkhoudende lagen in cm + NAP. / Vloedgraven sample area, upper limit of calcareous layers in cm above mean sea level.



spronkelijk vrij hoge kalkgehalte als van de geringere doorlatendheid, echter nog niet.

Van der Sluijs & Maarleveld (1963) vonden een ontkalkingsgrens in een dekzandrug in Zeeuwsch-Vlaanderen op ca. 150 cm beneden het maaiveld. Pons (1959) constateerde dat de onregelmatig verlopende kalkgrens in de gleygronden te Velsen op 50-80 cm beneden de bovenkant van het gleygrondprofiel voorkwam. In de podzolen lag de grens wat dieper. Deze in vergelijking met Salland geringe diepte staat mogelijk in verband met de betrekkelijk korte tijd, ongeveer 2500 jaar, die voor de bodemvorming tijdens het Holocene beschikbaar was.

Het dekzand in Salland is vooral ontstaan uit de zanden van het Fluviale laagterras. Mogelijk is reeds kalk tijdens de eolische verplaatsing verdwenen, het overige is grotendeels bij de bodemvorming uitgespoeld. Hierbij is, samenhangend met de koolzuurproductie van de plantenwortels en van andere organismen, de kalk in bicarbonaat omgezet en daarna naar beneden verplaatst. De meer geprononceerde neerwaartse grondwaterstroming in de podzolen heeft ertoe geleid, dat de kalk in deze gronden tot grotere diepte is uitgespoeld dan in de gleygronden.

Pons (1959) berekende het oorspronkelijk kalkgehalte van dekzanden op 0,3%  $\text{CaCO}_3$  per procent deeltjes kleiner dan  $50\mu\text{m}$ . Een lager kalkgehalte duidt op ontkalking, een hoger gehalte op kalkaccumulatie.

Fig. 42. Proefgebied Vloedgraven, bovengrens van de kalkhoudende lagen in cm beneden maaiveld. / Vloedgraven sample area, upper limit of calcareous layers in cm below surface.

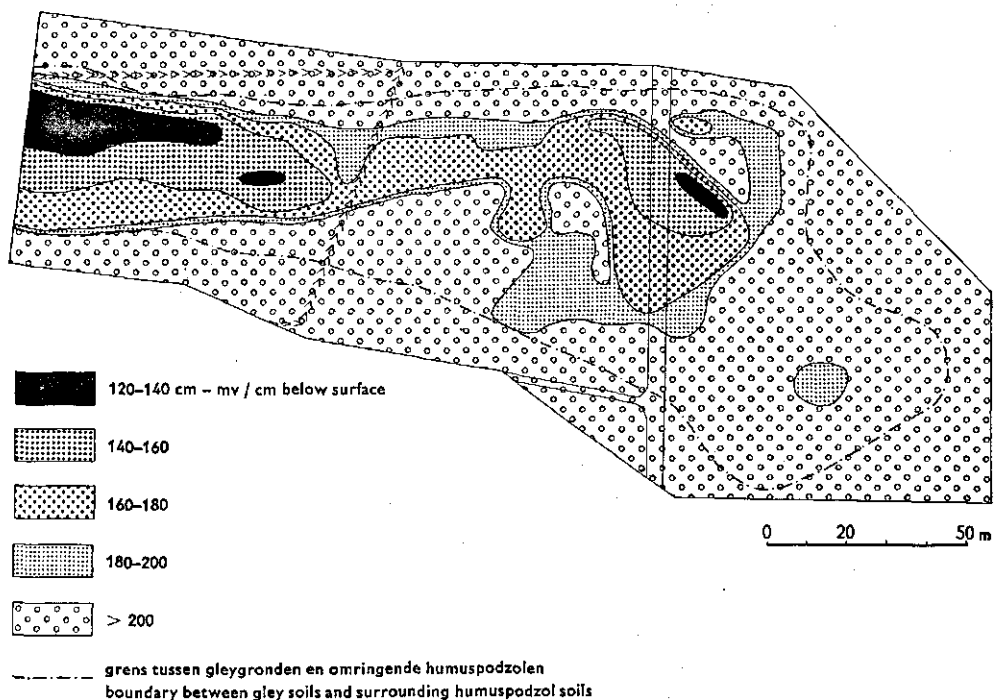
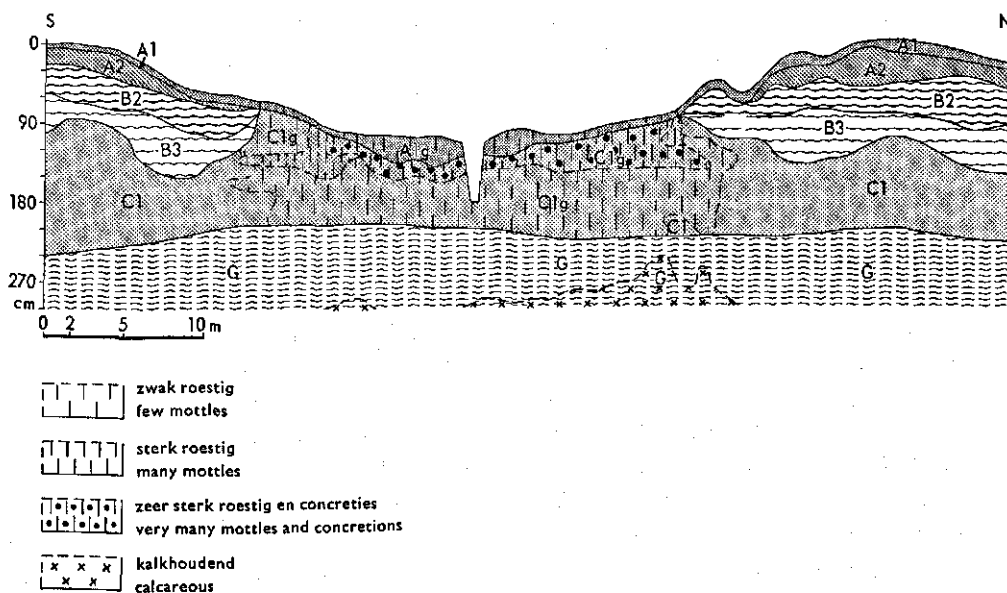


Fig. 43. Vereenvoudigde dwarsdoorsnede van het beekdal in het proefgebied Vloedgraven. Voor ligging zie fig. 4. / Simplified cross section of the brook valley in the Vloedgraven sample area. For position see fig. 4.



### 8.3 Kalkaccumulatie

Kalkuitspoeling kan leiden tot een zekere kalkophoping dieper in het profiel. Pons (1959) vermeldt, dat in de ontsluiting te Velsen nabij de kalkgrens de hoeveelheid kalk wat groter is dan overeenkomt met de door hem gegeven kalk-leemverhouding. Hij concludeert, dat er een ophoping van kalk heeft plaatsgevonden, hetgeen dus het gevolg is van een neerwaartse waterbeweging. Zeer plaatselijk komen in de zandgebieden van Nederland echter extreme kalkconcentraties op geringe diepte in de bodem voor, die moeraskalk of kalkgyttja worden genoemd en waarvan het ontstaan niet uitsluitend kan worden verklaard door inspoeling van kalk uit de bovenliggende lagen. Het oorspronkelijke kalkgehalte daarvan zou onwaarschijnlijk hoog moeten zijn geweest.

Moeraskalk is een vuilwitte, plastische massa met soms een verbrokkeld voorkomen, alsof het kryoturbaat gestoord is. Het kalkgehalte is bijzonder hoog, vaak omstreeks 80%. Het komt meestal op ongeveer 50 cm diepte voor (Van Baren, 1927).

Op de Geologische Kaart van Nederland, schaal 1:200000, staat de moeraskalk op een klein aantal plekken, vooral in Salland, aangegeven. De werkelijke verbreding is echter groter, omdat de individuele plekken vaak zeer klein zijn, enkele vierkante meters, waardoor ze gemakkelijk aan de waarneming ontsnappen.

Bij Susteren in Limburg ligt een ca. 35 ha groot gebied met moeraskalk. De kalklaag is 15 tot 80 cm dik (Schelling, 1950). De gyttja werd beschreven als een zeer fijn, wit materiaal dat voor meer dan 80% uit kalk bestaat. De bovengrond van het profiel bestaat uit een ca. 50 cm dikke veenlaag, die plaatselijk is bedekt dooreen dunne kleilaag. Ook op de overgang van het veen naar de gyttja ligt soms een dunne kleilaag. Onder de moeraskalk komt tamelijk grof, grijs zand voor. Het gehele gebied ligt laag ten opzichte van de omgeving en ontvangt daaruit veel water.

In het moeraskalkprofiel van Koordes komt op ca. 60 cm diepte een 5 tot 10 cm dikke kalklaag voor met ongeveer 80% kalk, die voor het grootste deel uit  $\text{CaCO}_3$  en voor een klein deel uit  $\text{FeCO}_3$  bestaat (fig. 36, tabel 19, foto 10). De bovenliggende lagen zijn kalkloos en sterk ijzerhoudend, de lagen onder de moeraskalk bevatten veel minder ijzer maar soms zeer veel kalk. Zij zijn niet met de naam gyttja aangeduid, omdat ze de karakteristieke morfologie daarvan missen en omdat het kalkgehalte niet extreem hoog is. Uitgaande van de kalk/leemverhouding van Pons kan een grondmonster met bijv. 60% minerale delen  $< 50 \mu\text{m}$  nog tot 20% kalk bevatten, voordat er sprake is van abnormale gehalten.

Over het algemeen wordt aangenomen, dat kalkgyttja tijdens het Laatglaciaal is ontstaan. De pollenanalyses van moeraskalk leveren namelijk laatglaciale spectra (Susteren, Florschütz, 1941; Zeeuwsch-Vlaanderen, Van der Sluijs & Maarleveld, 1963; Koordes, fig. 35). In kleine laatglaciale meertjes zou een flora en fauna, waaronder Characeae, hebben geleefd. De kalkhoudende restanten daarvan bezonken op de bodem en worden thans als kalkgyttja teruggevonden. Toch geeft deze verklaring geen opheldering omtrent het zeer lokale voorkomen en de zeer sterke concentratie. Evenmin over de vraag waarom in vrijwel alle gronden in de dekzandgebieden de kalk

is uitgespoeld, behalve in de moeraskalkprofielen en waarom de gyttja altijd door een ca. 50 cm dikke laag mineraal en organisch materiaal is bedekt en niet direct aan de oppervlakte ligt.

Om hierop antwoord te geven is nagegaan of de kalkgyttja tijdens het Holocene uit het grondwater kan zijn neergeslagen. Er zou dan een zekere overeenkomst zijn met het ontstaan van ijzeroer (hoofdstuk 10).

In hoofdstuk 5 werd aangetoond, dat in de gleygronden periodiek opwaartse grondwaterstromingen voorkomen. Een kenmerk daarvan is dat zij zeer plaatselijk zijn. In dit opzicht stemmen zij dus overeen met de afzettingen van ijzeroer en moeraskalk. Vaak wordt ijzeroer boven moeraskalk aangetroffen; bij het ontbreken van moeraskalk onder ijzeroer ligt de kalkgrens dikwijls op geringe diepte. Ook dit duidt op een verwante genese.

Met het opstijgende grondwater kunnen de stoffen, waaruit moeraskalk is opgebouwd, naar de gleygronden zijn gevoerd. In het grondwater zijn in het algemeen voldoende  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{++}$  en  $\text{HCO}_3^-$ -ionen aanwezig, zoals afgeleid kan worden uit het Verslag van de Waterleiding Maatschappij Overijssel over 1964. Hoewel het diepe grondwater, waarom het hier gaat, niet dezelfde samenstelling behoeft te hebben als het grondwater dat in de gleygronden aan de dag treedt, is het, mede gezien de gehele duur van het Holocene, waarschijnlijk dat er voldoende van deze stoffen zijn aangevoerd.

Of er kalk zal neerslaan, hangt vooral af van koolzuurspanningen. Nabij het maai-veld kan een uitwisseling van koolzuur uit het grondwater met die uit de atmosfeer plaatsvinden, waardoor de aangevoerde bicarbonaten overgaan in slechter oplosbare carbonaten, die vervolgens neerslaan. Dat de neerslag niet aan de oppervlakte, maar op ongeveer 50 cm diepte plaatsvindt, komt waarschijnlijk doordat de koolzuurproductie van planten en andere organismen in de oppervlakkige horizonten een neerslag aldaar verhindert. Dieper dan ongeveer 50 cm ontbreekt deze  $\text{CO}_2$ -productie, zodat daar wel kalk kan neerslaan. Ook kan gedacht worden aan de uitspoeling van een oppervlakkige, eerder gevormde kalkneerslag, gevolgd door het neerslaan daarvan onder de humeuze bovengrond.

Het optreden van pleistocene pollenspectra in moeraskalk sluit een latere datering van de kalkafzetting niet uit. Het betekent, in eerste instantie, dat het betreffende dekzand uit het Pleistoceen dateert. Daarna, tijdens het Holocene, kan de moeraskalk in de dekzandlaag zijn afgezet. Evenmin kan de kryoturbatie van de moeraskalk als een bewijs voor de pleistocene ouderdom gelden. De afzetting kan hebben plaatsgehad in een laag, die in een vroegere periode door vorstwerking werd gestoord.

## 8.4 pH

Tabel 21 geeft een overzicht van de pH-KCl van een aantal gronden in westelijk Overijssel. Omdat bemesting, met name bekalking, een grote invloed op de pH heeft, zijn de cijfers gesplitst naar de gebruikstoestand van de gronden. Voor de gleygronden betekent dit, dat ze óf onder gras liggen óf dat ze tot de niet-ontgonnen 'woeste' gron-

Tabel 21. De pH (KCl) in enkele gronden van West Overijssel. / pH-KCl of some soils of western Overijssel.

	Zwarte Beekeerdgronden Black 'Beek' earth soils			Broekeerdgronden 'Broek' earth soils			Veldpodzolgronden 'Veld' podzol soils			Zwarte Enkeerdgronden Black 'Enk' earth soils		
	woest	gras		woest	gras		woest	gras		woest	gras	
	wasteland	grass		wasteland	grass		wasteland	grass		wasteland	grass	
Bovengrond / Topsoil: gem. pH / mean pH grenzen / limits	3,9	5,0		-	5,2		3,3	5,0		3,0	4,7	
	3,6-4,3	4,4-5,8		-	5,0-5,4		2,9-3,8	4,5-5,5		3,0-3,1	4,5-4,9	
	n = 10	n = 31		-	n = 14		n = 8	n = 41		n = 2	n = 8	
Ondergrond / Subsoil: gem. pH / mean pH grenzen / limits	4,6	5,1		-	5,6		4,3	4,6		3,4	4,0	
	3,7-5,9	4,2-6,1		-	5,2-6,1		3,3-4,9	3,9-5,5		3,4-3,5	3,6-4,7	
	n = 29	n = 46		-	n = 18		n = 24	n = 50		n = 4	n = 15	

Bovengrond / Topsoil: 0-25 cm. Ondergrond / Subsoil: >25 cm.



den behoren. Aangezien er, als gevolg van bodemvorming en bemesting, pH-verschillen met de diepte op zullen treden, is in tabel 21 ook een splitsing in boven- en ondergrond gemaakt.

De niet-ontgonnen Zwarte Beekeerdgronden hebben pH-waarden van gemiddeld 3,9. De Veldpodzol- en de Zwarte Enkeerdgronden hebben zeer lage pH-waarden van 3,3 en 3,0. In alle gevallen stijgt de pH met toenemende diepte met respectievelijk 0,7, 1,0 en 0,4.

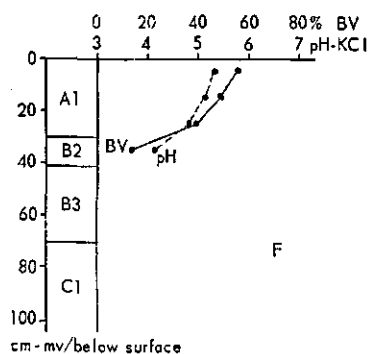
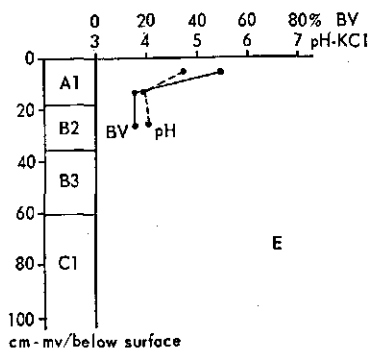
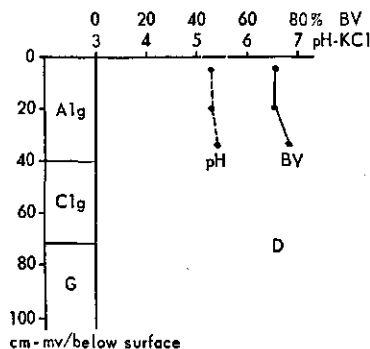
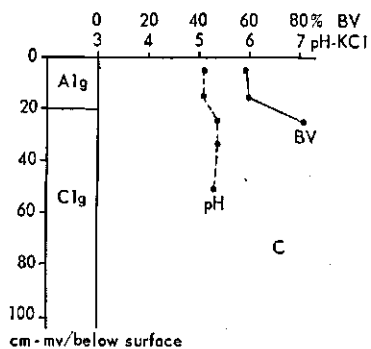
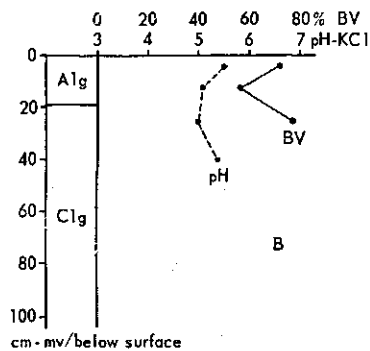
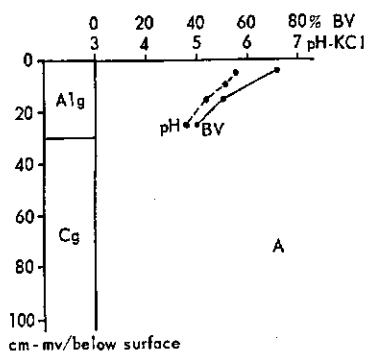
De ontgonnen gronden hebben in de bovengrond een pH van omstreeks 5,0, dat is 1,1 tot 1,7 pH-eenheid hoger dan de woeste gronden. In de ondergrond is het verschil minder groot en bedraagt 0,1 tot 0,7 pH-eenheid. De oorspronkelijke toename van de pH met de diepte is, als gevolg van de ontginning, vrijwel teniet gedaan bij de Zwarte Beekeerdgronden en veranderd in een daling bij de Veldpodzol- en Zwarte Enkeerdgronden. Voor de Broekeerdgronden (er zijn slechts gegevens van ontgonnen gronden beschikbaar) geldt hetzelfde als voor de Zwarte Beekeerdgronden, de pH van de eerste ligt evenwel iets hoger. Fig. 44 geeft van een aantal profielen het verloop van de pH met de diepte. Wanneer men uitgaat van een oorspronkelijk kalkrijk dekzand, mag de aanvankelijke zuurgraad op ongeveer neutraal worden gesteld. De pH van de woeste gronden is evenwel aanzienlijk lager, hetgeen een gevolg van de bodemvorming moet zijn. Opmerkelijk is, dat niet alleen de podzolen maar ook de gleygronden een lage pH hebben. Wanneer, zoals vrij zeker ten onrechte wel wordt gesteld, de oorzaak van de podzolering zou liggen in een lage pH, zou een pH-KCl van 3,9 (Zwarte Beekeerdgronden) nog niet laag genoeg zijn voor het podzoleringsproces, een pH van 3,3 (Veldpodzolgronden) wel.

Het verschil in pH tussen woeste en ontgonnen gronden is vooral een gevolg van bekalking. De invloed daarvan is goed merkbaar in de bovengrond, in veel mindere mate in de ondergrond. In de laatste jaren is daarom herhaaldelijk de aandacht gevestigd op het nut van ondergrondbekalking (o.a. Sluijsmans, Wind & Struijs, 1961). Uit de cijfers van tabel 21 valt af te leiden dat een dergelijke behandeling vooral nuttig zal zijn voor Veldpodzolgronden en Enkeerdgronden.

## 8.5 Basenverzadiging

Tabel 22 geeft een overzicht van de basenverzadiging van enkele gronden in westelijk Overijssel. Het aantal gegevens is kleiner dan dat van de pH, omdat het adsorptief complex een zekere omvang moet hebben voor een betrouwbare bepaling van de kationenbezetting. Slechts de cijfers van monsters die meer dan enkele procenten lutum of organische stof bevatten zijn in de tabel opgenomen.

De basenverzadiging van de gleygronden is betrekkelijk laag (50 à 60%). Zowel bij de woeste als bij de ontgonnen gronden neemt ze toe met de diepte. In de woeste Podzol- en Enkeerdgronden is de basenverzadiging bijzonder laag, in de ontgonnen gronden weliswaar hoger (38 en 50%); toch is ook dit nog tamelijk laag. Gemiddeld komt bij de Podzol- en de Enkeerdgronden een daling van de basenverzadiging met de diepte voor. In fig. 44 wordt een aantal voorbeelden gegeven, waaruit tevens het over-



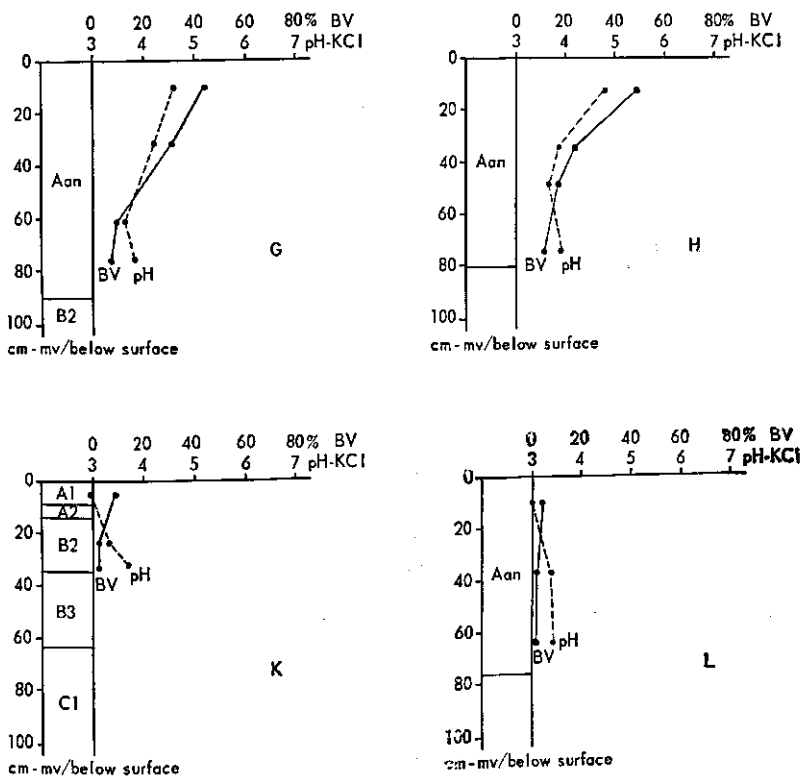


Fig. 44. Basenverzadiging en pH-verloop in enkele gronden, ontwikkeld in dekzand. / Base saturation (BV) and pH with increasing depth in some coversand soils.

A, B. Zwarte Beekeerdgrond, grasland / Black Beek earth soil, grassland  
 C. Bruine Beekeerdgrond, grasland / Brown Beek earth soil, grassland  
 D. Broekeerdgrond, grasland / Broek earth soil, grassland  
 E, F. Veldpodzolgrond, grasland / Veld podzol soil, grassland  
 G, H. Zwarte Enkeerdgrond, bouwland / Black Enk earth soil, arable land  
 K. Veldpodzolgrond, woest / Veld podzol soil, wasteland  
 L. Zwarte enkeerdgrond, bos / Black Enk earth soil, forest

Tabel 22. De basenverzadiging van enkele gronden in West Overijssel. / Base saturation of some soils of western Overijssel.

	Zwarte Beekgronden Black 'Beek' earth soils		Broekgronden 'Broek' earth soils		Veldpodzolgronden 'Veld' podzol soils		Zwarte Enkeerdgronden Black 'Enk' earth soils	
	woest wasteland	gras grass	woest wasteland	gras grass	woest wasteland	gras grass	woest wasteland	bouwland arable land
Bovengrond / Topsoil:								
gem. basenverzadiging / mean base saturation	52	56	35	70	7	38	4	50
grenzen / limits	24-76 n = 5	40-72 n = 12	21-53 n = 2	64-76 n = 4	2-10 n = 3	19-52 n = 12	3-5 n = 2	44-56 n = 4
Ondergrond / Subsoil:								
gem. basenverzadiging / mean base saturation	60	81	59	79	2	20	1	18
grenzen / limits	59-61 n = 2	77-86 n = 5	- n = 1	- n = 1	1-5 n = 4	19-21 n = 2	0-1 n = 4	7-45 n = 11

Vooraf in de ondergrond is het aantal gegevens beperkt als gevolg van de geringe hoeveelheid adsorptief complex. Als ondergrens voor een betrouwbare uitkomst is rekening gehouden met enkele procenten lutum en organische stof / Due to lack of adsorption complex a limited number of figures on the subsoil is represented.

Bovengrond / Topsoil: 0-25 cm. Ondergrond / Subsoil: >25 cm.

eenkomstige gedrag van basenverzadiging en pH blijkt.

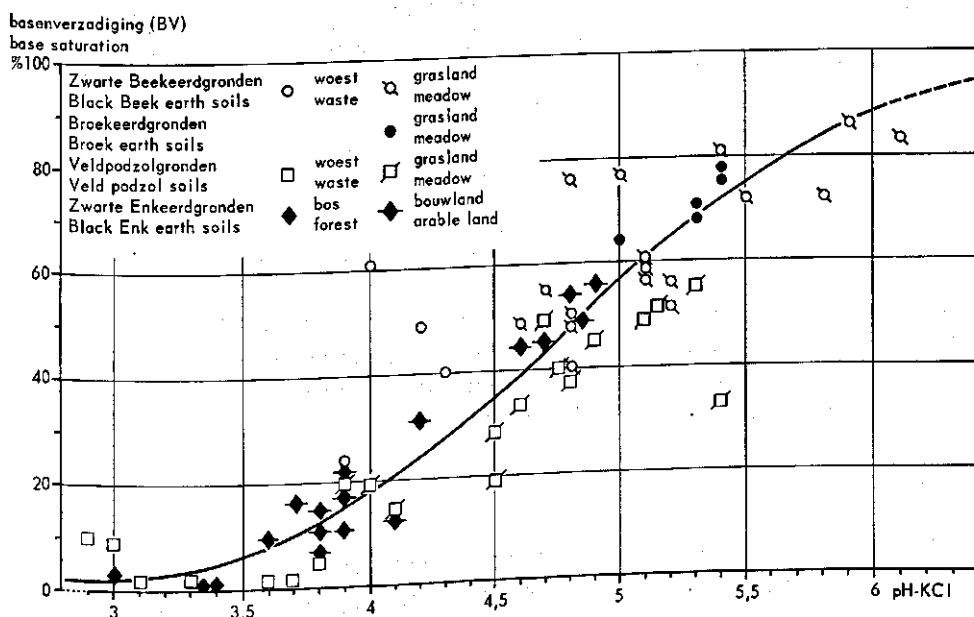
De basenverzadiging op het moment van de afzetting van het dekzand kan op nage-  
noeg 100 % worden gesteld. De bodemvorming leidde tot een aanzienlijke daling en  
de bemesting in recente tijd weer tot een sterke stijging.

De relatief hoge basenverzadiging van de woeste gleygronden, vergeleken met die  
van de woeste podzolen, hangt vooral samen met een veel minder sterke percolatie  
van de grond en met een min of meer sterke aanvoer van kationen door oppervlakte-  
of grondwater.

## 8.6 Verband tussen kalk, pH en basenverzadiging

Het verband tussen deze drie eigenschappen kan men zich bij de gleygronden als  
volgt voorstellen. Bij de bodemvorming werd aanvankelijk de koolzure kalk afgevoerd  
terwijl basenverzadiging en pH op een hoog peil bleven. Nadat het kalkgehalte tot  
ongeveer nihil was gedaald, begon een daling van basenverzadiging en pH. Zowel uit  
de gegevens van de afzonderlijke profielen (fig. 44) als uit die van het overzicht (fig.  
45) blijkt, dat tussen de pH en de basenverzadiging een zekere samenhang bestaat.  
Vergeleken met de pH daalt de basenverzadiging aanvankelijk langzaam, daarna, tus-  
sen pH = 6,0 en 4,0 volgt een snellere daling. Vervolgens gaat een verdere daling van  
de pH samen met een veel geringere daling van de basenverzadiging, die ten slotte  
bij pH 3 vrijwel nihil wordt.

Fig. 45. Basenverzadiging en pH van gronden ontwikkeld in dekzand in het westelijke deel van Over-  
ijssel (zie ook tabellen 21 en 22). / Base saturation and pH in soils developed in coversand in western  
Overijssel (see also tables 21 and 22).



## 9 Mineralogie

### 9.1 Inleiding

Algemeen wordt aangenomen dat de dekzanden voornamelijk ontstaan zijn uit oudere zanden, die in de naaste omgeving voorkwamen. In Salland ontstonden ze dus uit het Fluviale laagterras (Crommelin, 1964, 1965). Tijdens de omwerking tot dekzand moet een aanzienlijke afbraak van de mineralen zijn opgetreden. Tijdens de hieropvolgende bodemvorming vond opnieuw afbraak van mineralen plaats.

Ook in de samenstelling van de lutumfractie traden veranderingen op. Het relatief hoge lutumgehalte in de bovengrond van de gleygronden kan niet altijd uit een holocene fluviële sedimentatie worden verklaard. Waarschijnlijk heeft ook nieuwvorming van kleimineralen plaatsgehad.

### 9.2 Fluviaal laagterras

De zanden van het Fluviale laagterras bevatten een vrij hoog percentage gemakkelijk verweerbare mineralen, voornamelijk veldspaten, mica's, glauconiet, zware mineralen zoals augiet en hoornblende en diverse gesteentefragmenten. De dekzanden bevatten veel minder van deze mineralen. De grens tussen 'rijke' en 'arme' zanden is gelegd bij 15% gemakkelijk verweerbare mineralen in de fractie 50 tot 100  $\mu\text{m}$ . In verband met elders voorkomende, veel rijkere zanden werden omstreeks 1960 de oorspronkelijke aanduidingen rijk en arm vervangen door respectievelijk arm en zeer arm (Stichting voor Bodemkartering, 1965a).

De gemakkelijk verweerbare mineralen zijn meestal gekleurd, door vermenging met de witte of kleurloze kwarts hebben de arme zanden een bont uiterlijk. Met behulp van de sellotapemethode, gebaseerd op het tellen van de gekleurde bestanddelen, kan men snel een globaal inzicht verkrijgen in de samenstelling van de zanden (Maarleveld, 1964, 1966).

Langs de IJssel komen holocene zanden voor, die mineralogisch een zekere mate van overeenstemming met die van het Fluviale laagterras hebben. De dekzanden, die op wat grotere afstand van de IJssel in Salland aan de oppervlakte liggen, behoren tot de zeer arme zanden (Maarleveld, 1964).

### 9.3 Dekzand

Crommelin (1964) bestudeerde de mineralogische samenstelling van dekzanden in Nederland. Hij vond in deze zeer arme zanden geen significante verschillen tussen

Jong en Oud dekzand. Wel bleek er een belangrijk onderscheid tussen de dekzanden uit het noorden, midden en zuiden van het land te bestaan (tabel 23). De zanden uit het midden van het land hebben een aanzienlijk hoger gehalte aan zware mineralen in de 150–120  $\mu\text{m}$  fractie dan die uit het noorden en zuiden. De monsters voor het onderzoek van Crommelin werden genomen uit de C-horizonten van de bodemprofielen en kunnen dus representatief voor het moedermateriaal worden geacht.

De invloed van de bodenvorming op de mineralogische samenstelling van de zandfractie werd nagegaan in het onderzoek Schanenbroek<sup>1</sup>, waarbij in een reeks profielkuilen drie gleygronden, een overgangsprofiel en drie humuspodzolen werden bemonsterd. Er bestaan tussen deze gronden grote morfologische verschillen die samenhangen met de bodenvorming. De verschillen in bijv. hoogteligging en geologie zijn gering, zodat aangenomen werd, dat eventuele verschillen in de mineralogische samenstelling verband houden met de bodenvorming. Enkele resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in de figuren 46, 47, 48 en 49.

De raai, ca. 300 m lang, ligt in het Schanenbroek (ligging op fig. 1), ongeveer 8 km ten noordoosten van Raalte. Het maaiveld ligt op ongeveer 6 m + NAP. De hoogteverschillen in de raai bedragen ten hoogste 30 cm. In elke kuil werden 5 à 6 horizonten in drievoud bemonsterd. In twee monsters werd de mineralogische samenstelling van de 150–210  $\mu\text{m}$  fractie geanalyseerd, het derde diende voor het vaststellen van korrelgroottesamenstelling, pH, humusgehalte, N- en Fe-gehalte.

In fig. 46 is het bodemprofiel weergegeven. Achtereenvolgens komen voor: humuspodzolen in de kuilen 7, 6 en 1, een overgangsprofiel met zowel humusinfiltratie als roest in kuil 2 en een aantal gleygronden: Broekeerdgronden in de kuilen 3 en 4 en een Vlakvaaggrond in kuil 5.

Fig. 47 geeft het gehalte aan zware mineralen in de fractie 150–210  $\mu\text{m}$ . In de ondergrond van de gleygronden is dit van dezelfde orde van grootte als in het midden van

Tabel 23. Gemiddelde gewichtshoeveelheid zware mineralen in de 150–210  $\mu\text{m}$  fractie van dekzanden uit verschillende delen van het land, naar Crommelin (1964) / Average amount by weight of heavy minerals in the 150–210  $\mu\text{m}$  separate of coversands from the various parts of the Netherlands, after Crommelin (1964).

	Jong dekzand Younger coversand 10 <sup>-2</sup> %.	Oud dekzand Older coversand 10 <sup>-2</sup> %.
Noorden / North	9,2	7,3
Midden / Centre	29,3	25,4
Zuiden / South	6,7	5,8

1. Dit onderzoek werd uitgevoerd in nauwe samenwerking met Dr R. D. Crommelin, afdeling Mineralogie van de Stichting voor Bodemkartering, waarvan wij hier dankbaar melding maken.

Fig. 46. Dwarsprofiel Schanenbroek. Overzicht. / Schanenbroek cross section. Outline.

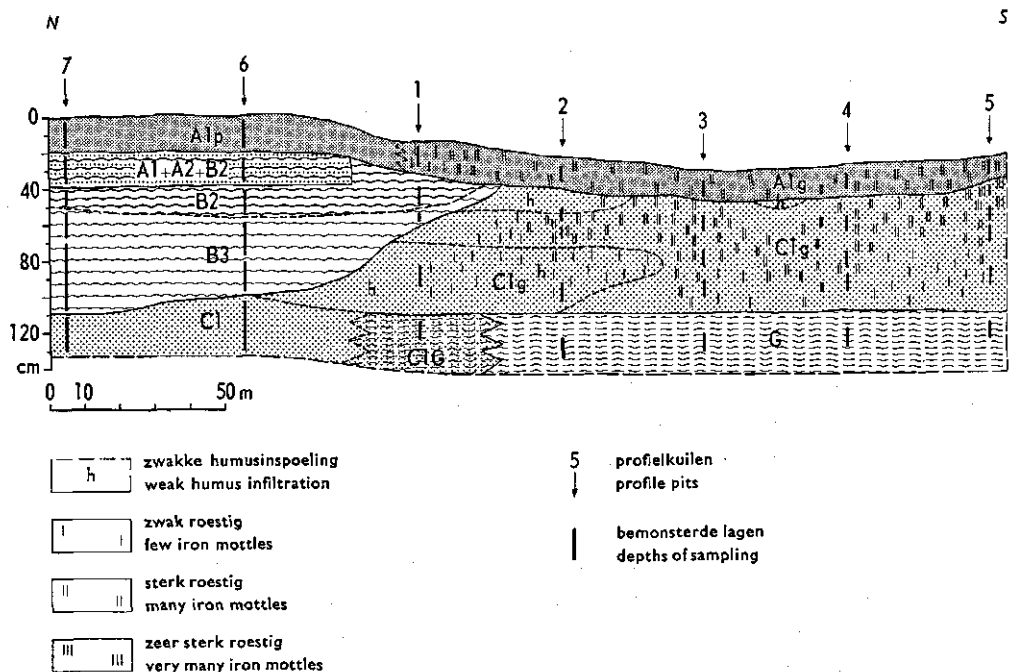


Fig. 47. Dwarsprofiel Schanenbroek, zware mineralen in de 150–210  $\mu$ m fractie; zie ook fig. 46. / Schanenbroek cross section, heavy minerals in the 150–210  $\mu$ m separates; see also fig. 46.

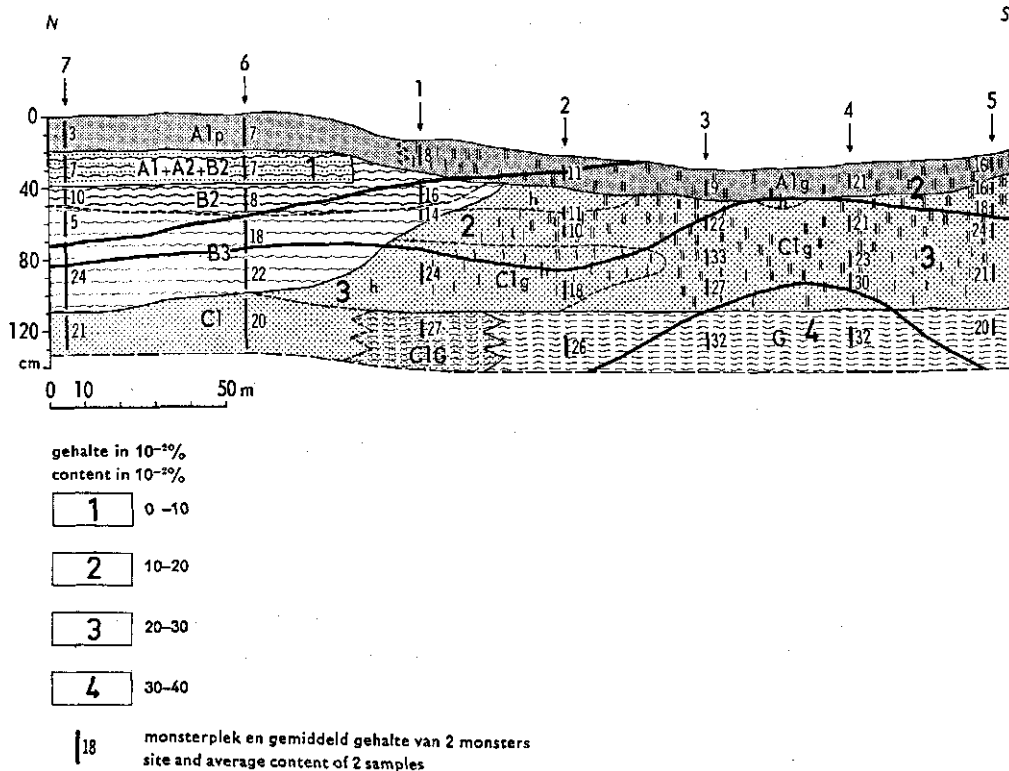
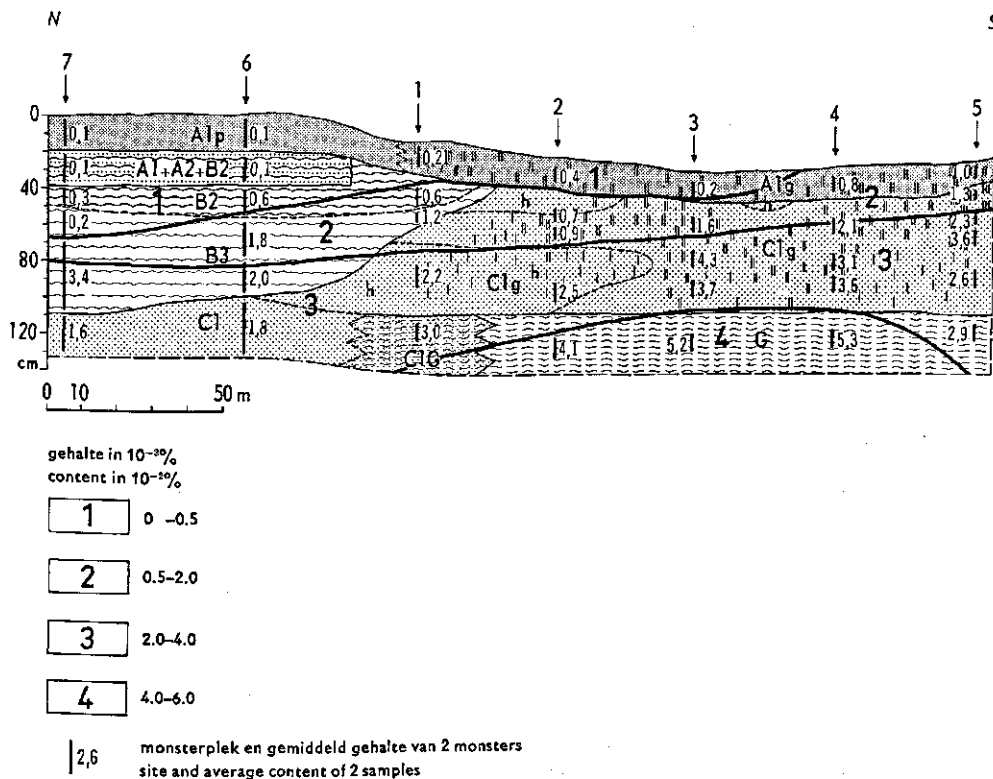




Fig. 48. Dwarsprofiel Schanenbroek, pyroxenen in de 150–210  $\mu\text{m}$  fractie; zie ook fig. 46. / Schanenbroek cross section, pyroxenes in the 150–210  $\mu\text{m}$  separates; see also fig. 46.



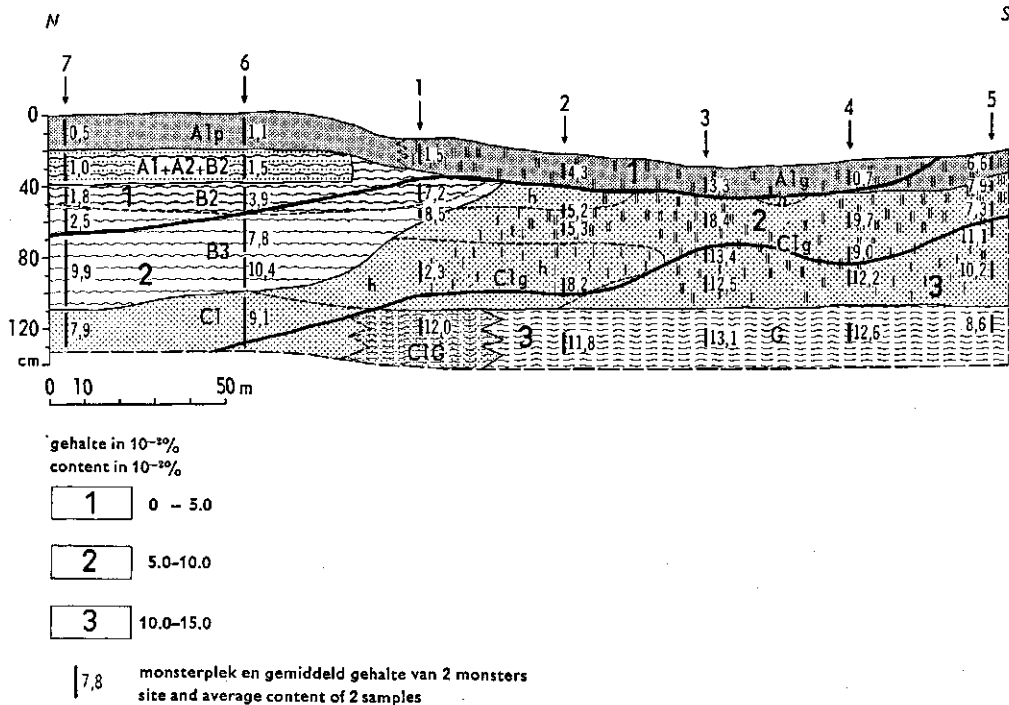
Nederland, namelijk ongeveer 30.10<sup>-2</sup>% (tabel 23). Het gehalte aan zware mineralen is in de bovengrond van de gleygronden en in de ondergrond van de humuspodzolen lager; in de bovengrond van de humuspodzolen bereikt het met 0–10.10<sup>-2</sup>% de laagste waarden van de gehele raai. Dit betekent dat de verwerking van de mineralen het sterkst was in de bovengrond van de humuspodzolen tot ongeveer 60 cm diepte. In de ondergrond van de humuspodzolen en in de bovengrond van de gleygronden is de verwerking minder sterk. In de ondergrond van de gleygronden heeft geen verwerking plaatsgehad.

In fig. 48 en 49 zijn de gehalten aan Pyroxenen, Epidoot en Saussuriet gegeven. In dit geval echter niet zoals gebruikelijk als percentage van het aantal getelde korrels, maar als gewichtsperscentage. Bij de omrekening zijn verschillen in het soortelijk gewicht van de diverse mineralen buiten beschouwing gelaten, waardoor de getallen niet geheel correct zijn. Het voordeel is evenwel, dat er een inzicht in de absolute hoeveelheid en daarmee in de verwerking van de verschillende mineralen ontstaat.

De hoogste gehalten, zowel aan Pyroxenen als aan Epidoot en Saussuriet, komen voor in de ondergrond van de gleygronden. In de ondiepere horizonten van de gleygronden en in de ondergrond van de humuspodzolen zijn de gehalten lager, in de bovengrond van de humuspodzolen het laagst.

Mineralen als granaat, metamorfe en accessoire mineralen; opaak en veldspaten

Fig. 49. Dwarsprofiel Schanenbroek. Epidoot en saussuriet in de 150–210  $\mu\text{m}$  fractie; zie ook fig. 46. / Schanenbroek cross section, epidote and saussurite in the 150–210  $\mu\text{m}$  separate; see also fig. 46.



zijn, blijkt de geringe verschillen in de gehalten, minder sterk verweerd. Toermalijn en kaliveldspaat zijn overal ongeveer even sterk vertegenwoordigd. Kwarts komt vooral in de bovengrond van de humuspodzolen veel voor, blijkbaar omdat het hier niet verweert en omdat de verwerking van de andere mineralen leidt tot de relatieve accumulatie van kwarts.

Waarschijnlijk is de raai geologisch niet geheel homogeen. Op ongeveer 30 cm diepte in de gleygronden en op ca. 50 cm diepte in de humuspodzolen komt namelijk een zwak golvende grens voor, die waarschijnlijk de bovenzijde van het Lemige oude dekzand vormt (Van den Akker et al., 1964). Het bovenste deel van de humuspodzolprofielen bevat ongeveer 15% meer zand >150  $\mu\text{m}$  en ongeveer 10% minder leem (<50  $\mu\text{m}$ ) dan het overige deel van het dwarsprofiel. Dit duidt er op dat tussen 30 en 50 cm diepte de overgang van Jong naar Oud dekzand ligt. Blijkens tabel 23 bestaat er tussen deze zanden een verschil in het gehalte aan zware mineralen, dat evenwel volgens Crommelin (1964) niet significant is. Het kleine geologische verschil in de raai Schanenbroek staat daarom niet in verband met de veel grotere mineralogische verschillen.

Uit het onderzoek Schanenbroek blijkt, dat de verwerking van zware mineralen zeer sterk is in de A- en B-horizonten van de humuspodzolen en in deze gronden dieper reikt dan in de andere delen van het dwarsprofiel. De verwerking in de gleygronden is vrijwel beperkt tot de A-horizont. Blijkbaar gaat in de humuspodzolen een sterke

bodemvorming samen met een aanzienlijke verwerking van diverse zware mineralen. In de gleygronden gaat een minder sterke bodemvorming samen met een minder sterke verwerking.

Vergelijkbare resultaten werden verkregen door Pape (1965) en Crommelin (1966) bij een onderzoek in Gelderland en Utrecht en door Van der Marel (1949).

#### 9.4 Lutum

In tabel 24 worden enkele gegevens over de samenstelling van de lutumfractie vermeld<sup>1</sup>.

De monsters 9a, 9b en 9c betreffen de lutumfractie van subatlantische afzettingen van de IJssel in Salland. Zoals in de meeste alluviale gronden in Nederland, overheerst illiet.

De monsters 1, 2a, 4a en 4b zijn afkomstig uit de ontsluiting te Spoolde bij Zwolle. Het gaat hier vrij zeker om pleistocene fluviatiele afzettingen. Er is mineralogisch een grote mate van overeenkomst met de bovengenoemde recente IJsselafzettingen.

De monsters 2b en 3 komen uit dezelfde ontsluiting, hebben waarschijnlijk ongeveer dezelfde ouderdom als de bovengenoemde, maar wijken er mineralogisch sterk van af. De fractie  $< 2\mu\text{m}$  bestaat namelijk vrijwel geheel uit lepidocrociet. Dat juist dit ijzermineraal hier wordt gevonden, is in overeenstemming met gegevens van o.a. Schwertmann (1959), volgens welke dit mineraal vooral onder anaërobe omstandigheden ontstaat. Wanneer men aanneemt dat het lepidocrociet tijdens het Pleistoceen is gevormd (hetgeen lang niet zeker is) en in aanmerking neemt dat humusinfiltratie ontbreekt, dan zou men deze monsters als delen van een fossiele gleygrond kunnen beschouwen.

De overige monsters zijn afkomstig uit gleygrondprofielen in de proefgebieden. De lutumfractie van de monsters 5a, 5b, 6a en 6b (tabel 24) bestaat grotendeels uit het ijzermineraal limoniet; de monsters zijn dan ook uit typische ijzeroer-horizonten genomen. In tegenstelling tot de monsters 2b en 3 bevatten deze monsters vrijwel geen lepidocrociet. Dat hier limoniet overheerst stemt overeen met gegevens van Schwertmann (1959) en van Deer, Howie and Zussman (1962), volgens welke dit mineraal moet worden beschouwd als een onvolledig gekristalliseerd goethiet, dat het eindprodukt is van de verweringscyclus van ijzer onder aërobe omstandigheden in gematigde klimaten.

De monsters 6c, 7, 8a en 8b, eveneens afkomstig uit gleygronden in de proefgebieden, bestaan voor een groot deel uit bodemchloriet, zowel de gewone vorm als de zwellende. Ook komen er kleine hoeveelheden kwarts en amorf materiaal in voor.

Betreffende de oorsprong van de kleimineralen tekende Van der Marel in zijn com-

1. Een deel van de monsters werd beschikbaar gesteld door H. de Bakker en Dr J. Schelling. Alle analyses werden uitgevoerd en van commentaar voorzien door Dr H. W. van der Marel. We brengen hier gaarne onze dank.

Tabel 24. IJzer- en kleimineralen in enkele gronden. / Iron and clay minerals in some soils.

Ligging en Nr. Site and No.	Diepte Depth in cm	monster sample	% van de grond % of soil			
			<2 $\mu\text{m}$	<16 $\mu\text{m}$	CaCO <sub>3</sub>	org. st. org. matter
Spoolde						
1	358-373	leem / loam	8	11	0,1	0,5
2a	500-510	grijze leem / gray loam	14	25	0,1	1,1
2b	515-550	groene leem / green loam	20	32	5,0 <sup>1</sup>	4,0
3	206-225	leem / loam	6	10	0,0	0,7
4a	413-518	kryot. leem / cryot. loam	12	21	0,1	0,7
4b	$\pm 400$	leem / loam	7	11	0	0,6
Vloedgraven						
5a	5-15	rode leem / red loam	20	23	0	3,6
5b	40-50	ijzeroer / iron ore	10	11	0	0,4
Bathmen						
6a	3-14	A12g	-	21	0 <sup>2</sup>	7 <sup>2</sup>
6b	14-33	C11gFe	-	25	0 <sup>2</sup>	3 <sup>2</sup>
6c	33-44	C12g	-	11	0 <sup>2</sup>	0 <sup>2</sup>
7	15-25	A12g	-	16	0 <sup>2</sup>	8 <sup>2</sup>
8a	14-19	A12g leem / loam	-	17	0 <sup>2</sup>	12 <sup>2</sup>
8b	21-28	C1g leem / loam	-	6	0 <sup>2</sup>	0 <sup>2</sup>
Spoolde						
9a	20-68	jonge IJsselklei / young IJssel clay	12 <sup>2</sup>	26	5,7	0,5
9b	90-118	oude IJsselklei / old IJssel clay	30 <sup>2</sup>	54	7,4	0,8
9c	118-142	oude IJsselklei / old IJssel clay	45 <sup>2</sup>	86	0	4,6

1. Zowel  $\text{FeCO}_3$  als  $\text{CaCO}_3$  / both  $\text{FeCO}_3$  and  $\text{CaCO}_3$ .

2. Schatting / estimation.

mentair aan dat een biogene ontstaanswijze niet waarschijnlijk is. Een autogene vorming achtte hij niet uitgesloten. Bij autogene vorming worden van elders aangevoerde verbindingen, bijv. sesquioxiden, ingevoegd tussen de elementaire plaatjes van grotendeels verweerde primaire mineralen. Ook reeds bestaande kleimineralen kunnen resulteren (Barshad, 1959, 1964). De aard van de nieuw gevormde verbindingen hangt o.a. af van de beschikbare stoffen, de pH en de vochtigheid.

Het proces van de nieuwvorming verloopt bijzonder langzaam. Volgens Barshad (1959) varieert de hoeveelheid nieuw gevormde lutum van 0,01 tot 2 mg/100 gr

% van de lutumfractie  
% of clay separate

limoniet $\alpha$ -FeOOH	lepidocrociet $\gamma$ -FeOOH	illiet	zwellende illiet expanding illite	kaolinitet	calciet	kwarts quartz	amorf	zwellende soil chloriet / expanding soil chlorite	soil chloriet
0	0	27,5	27,5	20	0	25	-	0	0
0	0	27,5	27,5	20	0	25	-	0	0
0	zv	0	0	0	0	0	-	0	0
0	zv	0	0	0	0	0	-	0	0
0	0	27,5	27,5	20	0	25	-	0	0
0	0	27,5	27,5	20	0	25	-	0	0
40	20	0	0	0	0	10	-	30	0
100	0	0	0	0	0	0	-	0	0
>50	0	0	0	0	0	w	v	0	0
>50	0	0	0	0	0	w	w	0	0
0	0	0	0	0	0	w	w	80	0
0	0	0	0	0	0	0	15	85	0
0	0	0	0	0	0	20	0	0	80
0	0	0	0	0	0	20	0	0	80
0	0	25	35	15	10	15	0	0	0
0	0	25	35	15	10	15	0	0	0
0	0	30	45	15	10	0	0	0	0

zv = zeer veel / very much

v = veel / much

w = weinig / little

grond per jaar. De vorming van 20% lutum in een 15 cm dikke laag in 10000 jaar tijd, overeenkomend met 2 mg lutum per 100 g grond per jaar, zou voor de meeste gronden reeds als een bijzonder hoge waarde moeten worden beschouwd. Wanneer de hoeveelheid nieuw gevormd lutum in de gleygronden op 5% wordt gesteld en de beschikbare tijd gelijk is aan het gehele Holocene (10000 jaar) dan zou er gemiddeld 0,5 mg per 100 gr grond per jaar zijn gevormd. Indien slechts een kwart van het Holocene beschikbaar zou zijn geweest, dan zou er 2 mg per jaar zijn gevormd, het maximum dat Barshad nog voor mogelijk houdt. Ook is, volgens Barshad, een lage, natte ligging gunstig voor nieuwvorming en wordt aan sommige voorwaarden het

best voldaan op een diepte van 5–25 cm.

Uit het bovenstaande volgt dat nieuwvorming van lutum in de gleygronden tot de mogelijkheden behoort. Bovendien is de aanwezigheid van andere bodembestanddelen (ijzeroer, sideriet, vivianiet en moeraskalk), die kennelijk van nieuwvorming afkomstig zijn, een aanwijzing dat het milieu van de gleygronden althans voor bepaalde nieuwvormingen gunstig is.

## 10 Gleyverschijnselen

### 10.1 Inleiding

Gley of gleyverschijnselen behoren tot de meest verbreide gevolgen van de bodemvorming. Zij zijn niet alleen te vinden in de hier behandelde gleygronden, maar komen voor in alle lage gronden, die een zekere invloed van het grondwater hebben. In Nederland behoren hiertoe zeer veel rivier- en zeekleigronden. Omdat gley te maken heeft met het gedrag van ijzerverbindingen, vertonen ijzerloze gronden, zoals sommige lage humuspodzolen, geen gleyverschijnselen, althans niet in de hier bedoelde zin. Over het al dan niet aanwezig zijn van ijzer kan de gloeiproef uitsluitsel geven (Van Diepen, 1956).

Onder gleyverschijnselen worden verstaan de bruine en grijze vlekken, strepen en horizonten in de bodem, die bepaald worden door de aard en de hoeveelheid van de ijzerverbindingen en door het gedrag van het grondwaterniveau. Men noemt ze ook wel oxydatie-reductieverschijnselen. De bruine, geoxydeerde vorm wordt roest genoemd, de grijze, gereduceerde heeft geen soortgelijke naam, meestal spreekt men van grijze vlekken of reductievlekken. In hoofdstuk 1 is de herkomst van het woord 'gley' al toegelicht. Oorspronkelijk gebruikte men deze term uitsluitend voor de grijze vlekken en horizonten in de bodem, thans worden meestal zowel de grijze als de bruine vlekken en strepen ermee aangeduid.

Het profiel van de gleygronden kan naar de gleyverschijnselen globaal in twee zones worden verdeeld. De bovenste is gevlekt en bevat bruine en grijze vlekken. Men geeft in profielbeschrijvingen deze zone aan door achter de code voor de hoofdhorizont een 'g' toe te voegen, bijvoorbeeld Ag en Cg. In deze zone spelen zich de schommelingen van het freatische niveau af. De onderste zone is egaal grijs, soms groen- of blauwgrijs, en is vrijwel steeds met water verzadigd. Zij wordt in de regel met de letter G gecodeerd. In gronden die hoger liggen dan de gleygronden, komt boven de eerste zone nog een dikwijls min of meer egaal bruin gekleurde zone voor, waarin zelden of nooit grondwater wordt aangetroffen.

In het vervolg van dit hoofdstuk wordt eerst nader op de eigenschappen en het ontstaan van gleyverschijnselen ingegaan. Daarna volgt de behandeling van een aantal bijzondere gleyverschijnselen, zoals ijzeroer, fossiele gley en pseudogley.

## 10.2 Eigenschappen

### 10.2.1 Roest

Meestal bevat de A1g weinig roestvlekken. Zij contrasteren matig met de matrix. De hoeveelheid ijzer is evenwel groter dan de roestvlekken wellicht doen vermoeden, omdat het ijzer gedeeltelijk aan de organische stof is gebonden en omdat de roestvlekken min of meer door de organische stof worden overdekt. In sommige gevallen is de roestigheid zeer sterk, met als extreem geval een geheel roodbruine horizont die zeer veel ijzer blijkt te bevatten, zoals bij de rodoornige gronden (Knibbe & Van den Akker, 1966). De Bruine Beekeerdgronden zijn vaak iets roestiger dan de meeste andere gleygronden. Zij bevatten waarschijnlijk wat meer ijzer. De Gooreerdgronden hebben bovengronden zonder roest.

De roestvlekken zijn vrij regelmatig over de bovengrond verdeeld, al blijkt dikwijls een lichte toename met de diepte. Bij veel rodoornige gleygronden is het onderste deel van de A1g sterk roestig; het bevat dikwijls ijzerconcreties.

De roestvlekken in de C1g-horizont zijn veel opvallender dan die in de A1g, als gevolg van vrij grote kleurcontrasten ten opzichte van de lichte matrix. Meestal is hun aantal en oppervlakte niet groot. De oligotrofe gleygronden bevatten nauwelijks roest in de C1g-horizont; daarentegen bezitten rodoornige gronden in het bovenste deel van de C1g zeer veel roest en dikwijls ook concreties (foto 11 en 12).

Meestal ligt de grootste roestconcentratie direct onder de A1g of iets dieper. Deze laag is enkele decimeters dik en gaat soms vrij scherp over in een horizont met veel minder roest, die tot ca. 100 cm diepte reikt. De concentratie bovenin de horizont staat waarschijnlijk mede in verband met de oorspronkelijk veel hogere grondwaterstanden en is daarom als fossiele gley te beschouwen. Als het huidige grondwaterregiem vroeger ook geheerst had, zou de roest meer over de C1g verdeeld zijn.

Men kan morfologisch een aantal roestvormen onderscheiden. Bij hogere roestconcentraties kan een horizontale gelaagdheid optreden, die overeenkomt met die van het dekzand. Blijkbaar beïnvloeden kleine verschillen in doorlatendheid, aëratie enz., samenhangend met de gelaagdheid van het zand, het neerslaan en de ophoping van het ijzer.

Een enkele maal vindt men in de gleygronden discontinuïteiten in de vorm van vorstspleten. De roestafzettingen hebben daar overeenkomstige vormen. Hetzelfde geldt voor de kryptoturbate figuren, die soms in de C1g optreden.

Roest komt dikwijls voor in de vorm van roestpijpjes, die in de C1g vaak fraai zijn ontwikkeld. In het centrum van zo'n pijpje bevindt zich soms nog een wortel of een restant daarvan (foto 13 en 14). Daaromheen ligt een grijze of licht geelgrijze zone, gevolgd door de roestconcentratie, die het eigenlijke pijpje vormt. De roestpijpjes staan meestal verticaal, zij zijn in profielkuilen als langgerekte ovalen, als vlammen of als strepen te zien.

De roestvlekken blijken uit een groot aantal kleine ijzerconcentraties op de zandkorrels te bestaan. In extreme gevallen zijn de zandkorrels aaneengekit tot ijzeroer-



korrels en platen. Meestal zijn deze ijzerconcentraties zeer hard (ijzerconcreties), in andere gevallen zijn het roodbruine plastische massa's.

### 10.2.2 Grijze vlekken

In het gehele gleygrondprofiel komen grijze vlekken, reductievlekken, voor. In de A1g-horizont zijn ze weinig opvallend, soms in het onderste deel daarvan wat duidelijker, vooral als het humusgehalte daar wat lager en het leemgehalte wat hoger is dan in de rest van de horizont. In de C1g nemen de grijze vlekken in omvang en duidelijkheid toe, tot zij in de G-horizont vrijwel geheel overheersen.

De kleur van de vlekken varieert tussen 5Y 6/1 en 4/1. Het chroma is zelden hoger dan 1, de hue varieert van 2½Y tot 10Y. Blauwgrijze en groengrijze kleuren komen evenwel zelden voor.

Er bestaat een niet steeds even duidelijk onderscheid tussen echte reductiekleuren en 'blonde' kleuren (ca. 5Y 5/1 en 10YR 6/2). De eerste zijn, tenminste tot op zekere hoogte, geassocieerd met reductieprocessen en ferroverbindingen, de blonde hebben betrekking op materiaal, waarin geen reductie of accumulatie van ijzer heeft plaatsgehad.

### 10.2.3 Ijzergehalte

Het ijzergehalte van de gleygronden varieert sterk, nl. van nagenoeg nihil tot meer dan 50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (oplosbaar in 10% HCl). Het oorspronkelijke gehalte van vele gronden blijkt ongeveer 0,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  per procent lutum te bedragen, welke verhouding als een eigenschap van het moedermateriaal is te beschouwen (bijv. Pons, 1959; Oades, 1963; Knibbe & Van den Akker, 1966). Hiervan uitgaande kan men zich een beeld vormen van de uitspoeling of de accumulatie van ijzerverbindingen, die zich bij de bodemvorming kan hebben voorgedaan.

De meeste gleygronden hebben lage lutumgehalten en dienovereenkomstig lage ijzergehalten, 0,2 tot 0,5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (fig. 50). In deze gevallen is van accumulatie of uitspoeling nauwelijks sprake. Gooreerdgronden zijn dikwijls nagenoeg ijzerloos, blijkbaar als gevolg van uitspoeling. Andere gleygronden, zoals de roodoornige gleygronden, hebben, althans in bepaalde horizonten, aanzienlijk hogere ijzergehalten (10–50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), zodat een ijzeraccumulatie waarschijnlijk is (fig. 51) (Knibbe & Van den Akker, 1966). De totaalanalyse van ijzerconcreties geeft uiteraard een zeer hoog ijzergehalte te zien (par. 10.4.2, tabel 25).

Deze gehalten hebben betrekking op ferri-ijzer, dat in zeer veel grotere hoeveelheden voorkomt dan ferroverbindingen. Daniels, Simonson and Handy (1961) bijv. vonden in geelgrijs tot grijs gekleurde gronden (hue 10YR en 2½Y) de zeer lage ferrogehalten van 0–5 dpm. Dit is van dezelfde orde van grootte als het gehalte van het diepe grondwater in Overijssel (0,1 tot 9,5 mg Fe/l, Waterleiding Maatschappij Overijssel, 1964). Roeschmann (1960) vond 30–200 mg Fe/l in oppervlakkig grondwater. Van Rees Vellinga (1965) geeft als gemiddeld gehalte van het diepe grondwater in de

Fig. 50. Relatie tussen lutum- en ijzergehalte bij niet-rodoornige gleygronden met minder dan 5% lutum en minder dan 10% organische stof (naar Knibbe & Van den Akker, 1966). / Relation between clay content and iron content in coversand gley soils with less than 5% clay and less than 10% organic matter. The soils have no rodoorn characteristics, such as reddish brown colour and iron concretions, due to high iron content (from Knibbe & Van den Akker, 1966).

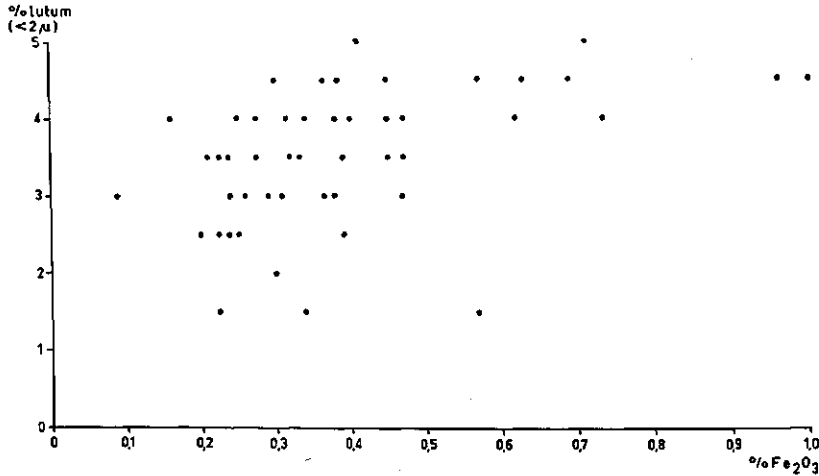


Fig. 51. Relatie tussen lutumgehalte, ijzergehalte en rodoornigheid in Vecht- en gleygronden, exclusief monsters met meer dan 10% organische stof (naar Knibbe & Van den Akker, 1966). / Relation between clay and iron content and rodoorn characteristics in soils of the River Vecht area and in coversand gley soils, excluding samples with more than 10% organic matter (from Knibbe & van den Akker, 1966).

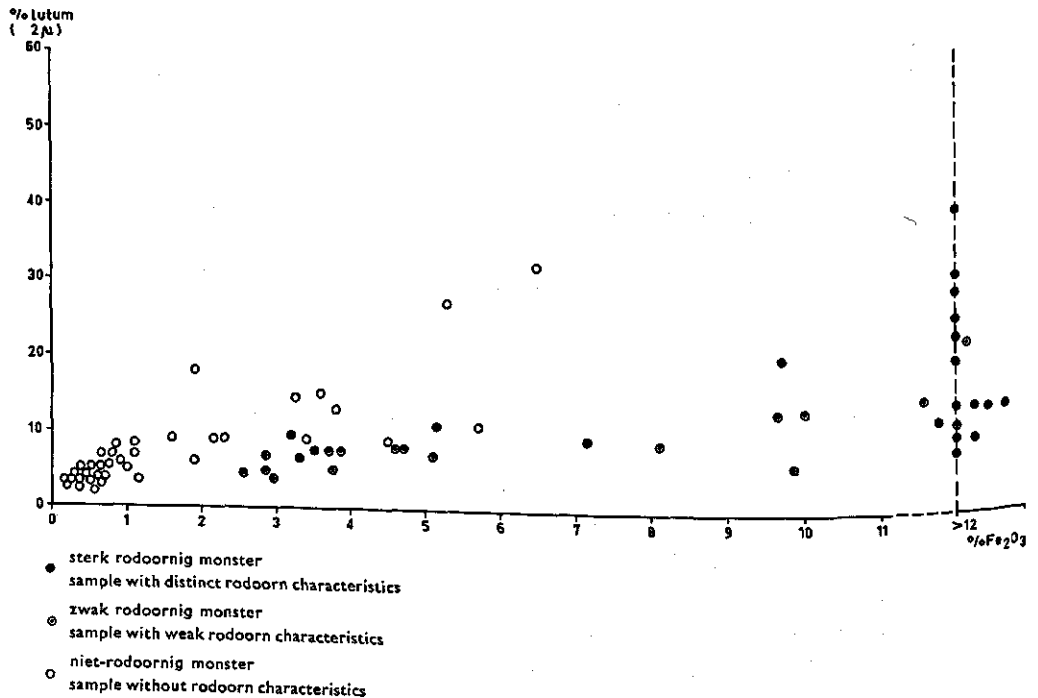




Foto 11. Zwak roestige gleygrond met wortelresten. / Plate 11. Weakly mottled gley soil with root remnants.



Foto 12. Sterk roestige gleygrond met maximale roestconcentratie dicht onder de A1g-horizont. / Plate 12. Strongly mottled gley soil; maximum iron mottling just below the A1g horizon.

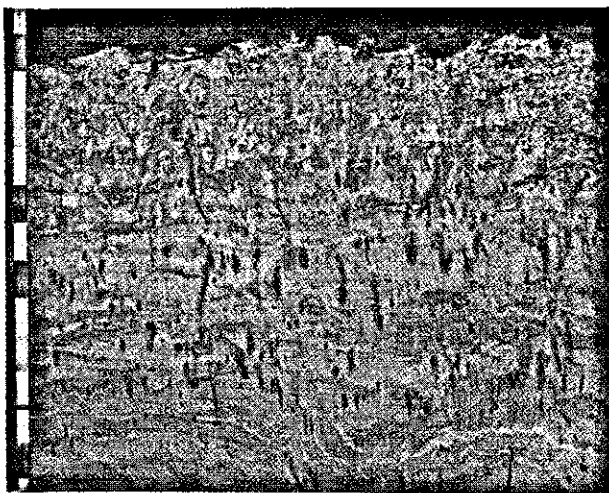


Foto 13. Ovaalvormige doorsneden van roestpijpjes met in het centrum daarvan wortelresten. / Plate 13. Oval oblique sections of 'rust tubes' with root remnants in their centre.

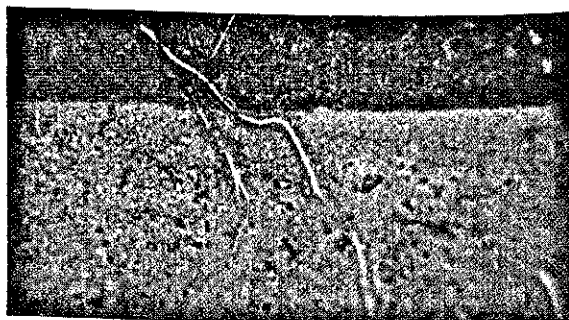


Foto 14. Bij oxydatie-reductieproeven ontstonden reeds na ongeveer een maand roestpijpjes rondom de maïswortels. / Plate 14. In the oxidation-reduction experiments 'rust pipes' developed around maize roots after about one month.



Foto 15. IJzeroer en vivianiet in een profiel bij Barneveld (vgl. tabel 26). / Plate 15. Iron ore and vivianite near Barneveld (see also table 26).

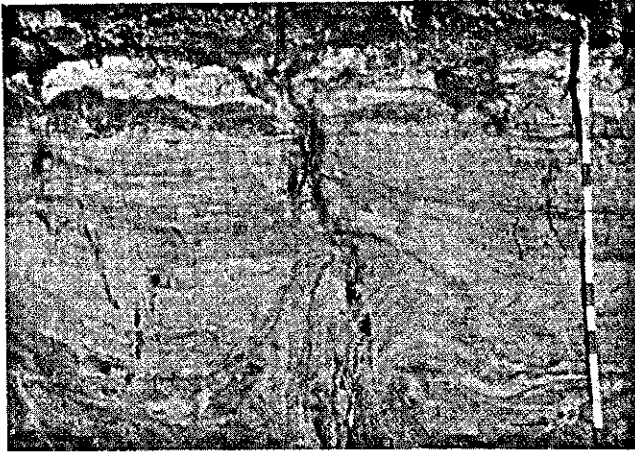


Foto 16. Zijdelingse overgang van een gleygrond (links) in een humuspodzol (rechts). / Plate 16. Lateral transition of a gley soil (left) in a humuspodzol soil (right).

Peel ongeveer 10, met als uitersten 0,0 en 43,6 mg Fe/l. Door Daniels et al. (1961) is ook het ferrogehalte van grijze tot groengrijze gronden (hue 5Y, 5GY en 5G) bepaald. Zij vonden daarin gehalten, variërend van vrijwel 0 tot maximaal 2300 dpm. Hieruit concluderen zij, dat grijze tot groengrijze kleuren verband houden met gereduceerde ijzerverbindingen in hoeveelheden van enige betekenis.

Algemeen wordt aangenomen dat de G-horizont gekarakteriseerd wordt door de aanwezigheid van ferroverbindingen (bijv. Soil Survey Staff, 1951). De Bakker & Schelling (1966) definiëren deze horizont als een 'gereduceerde' horizont, die na oxydatie aanzienlijk van kleur verandert. Zij betwijfelen of er in de regel ferroverbindingen van enige betekenis aanwezig zijn, welke twijfel gezien het onderzoek van Daniels et al., gerechtvaardigd is. Het is waarschijnlijk dat de grijze kleuren in gleyhorizonten nauwelijks aan ferroverbindingen kunnen worden toegeschreven (vgl. ook Bloomfield, 1963). Veeleer duiden deze kleuren erop, dat bruine, driewaardige ijzerverbindingen ontbreken en dat de eigen kleur van het voornamelijk uit kwarts bestaande moeder-materiaal naar voren komt.

### 10.3 Ontstaan

#### 10.3.1 Inleiding

Bij het ontstaan van gleyverschijnselen kunnen in aansluiting op d'Hoore (1953) en Oades (1963) drie stadia worden onderscheiden, nl. mobilisatie, transport en neerslag en concentratie van ijzerverbindingen. D'Hoore spreekt van 'uitgangszone', 'door-gangszone' en 'ontvangstzone'. De mobilisatie van ijzerverbindingen is het best bekend. Vooral organische stoffen en water zijn hierbij van grote betekenis. De transport-fase is uiteraard van groot belang in het proces, maar heeft tot nu toe weinig de ge-richte aandacht van de onderzoekers getrokken. De neerslag en de ophoping zijn de niet zo goed bekende fasen van de gleyvorming.

#### 10.3.2 Mobilisatie

De kennis van de mobilisatie van ijzer is in de laatste decennia sterk toegenomen door experimenten van o.a. Bloomfield (1951, 1963). Aanvankelijk was men van mening dat ijzer wordt gemobiliseerd door de reductie tot tweewaardig ijzer, dat beter oplosbaar is dan de driewaardige vorm. Thans wint de overtuiging veld, dat ijzer beweeglijk wordt doordat het in complexe organische verbindingen (chelaten) wordt opgenomen.

De experimenten van Bloomfield en anderen (samenvatting bij Oades, 1963) bestaan voornamelijk uit het toevoegen van organische stoffen, zoals suikers, extracten van boombladeren en van grassen, eiwitten en synthetische chelaten, aan met water verzadigde grondmonsters. Na enige tijd blijkt uit het verschijnen van grijze kleuren en een sterk toegenomen hoeveelheid ferro-ijzer, dat zich een min of meer sterke reductie heeft voorgedaan.

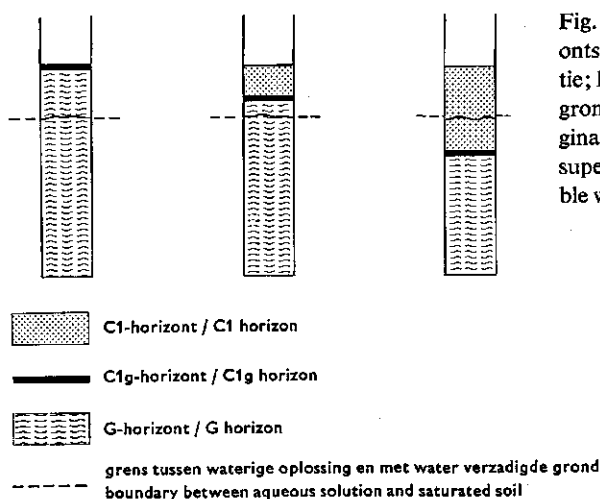


Fig. 52. Reductieproef. Na verloop van tijd ontstaat een sterke reductie en enige oxydatie; het geheel is vergelijkbaar met een gleygrond. / Reduction experiment. The originally brownish soil becomes reduced and superficially oxidized again and is comparable with a gley soil.

Met een aantal monsters van verschillende gronden in Overijssel voerden we proeven uit, die ongeveer met die van Bloomfield (1951) overeenkomen en die tot soortgelijke uitkomsten leidden (reductieproef, fig. 52). De monsters zijn afkomstig uit A1g- en C1g-horizonten van normaal roestige en roodoornige gleygronden, keileemverweringsgronden en normaal roestige en roodoornige zeekleigronden. Ze werden in duplo in glazen cylinders gebracht, die vervolgens met water werden bijgevuld. Aan het ene deel van de monsters werd een kleine hoeveelheid suiker toegevoegd, de duplo's ontvingen geen suiker.

In de buizen met suiker ontwikkelde zich na enkele dagen een sterke gisting, die vervolgens geleidelijk afnam. Na enkele weken verschenen grijze vlekken, die in aantal en omvang toenamen, tot soms de gehele vulling van de buis deze kleur had. Vooral bij de sterk roestige en roodoornige monsters was de kleuromslag bijzonder duidelijk. In de monsters zonder suiker verliep dit proces aanzienlijk langzamer, de gisting was minder sterk en de kleuromslag trad pas na enkele maanden tot een jaar op.

Op de duur ontstond in alle buizen een scherpe grens tussen het geheel grijs gekleurde, kennelijk gereduceerde, onderste deel van de buisinhoud en het min of meer bruin gekleurde bovenste deel. In sommige gevallen was de gehele massa grijs, terwijl slechts een bruin vlies aan de vloeioppervlakte voorkwam (fig. 52, vgl. par. 10.3.4).

Blijkbaar ontwikkelt zich, met de suikers en de andere organische stoffen die in de grond aanwezig zijn als substraat, aanvankelijk een aërobe gisting, waarbij de vrije zuurstof wordt verbruikt (Gorbunov, 1958). Omdat aanvulling van zuurstof uit de atmosfeer door de bovenste waterlaag sterk geremd wordt, treedt vervolgens een anaërobe gisting op. De zuurstof wordt onttrokken aan bepaalde verbindingen, bijv. ferrioxiden en -hydroxyden (Armstrong, 1967), waardoor deze stoffen worden gereduceerd en bruine kleuren plaats maken voor grijze. De bruine verkleuring aan of nabij het wateroppervlak is een gevolg van oxydatie van ferroverbindingen, die in con-



tact kwamen met zuurstof uit de atmosfeer.

De reductieprocessen verlopen dus in aanwezigheid van organische stoffen sneller dan zonder deze stoffen. Soortgelijke conclusies kunnen worden getrokken uit veldwaarnemingen. Wanneer bijv. suikerbietenblad, dat in het najaar werd ondergeploegd, in het voorjaar weer wordt opgegraven, blijkt dat zich rondom de bladeren een grijze verkleuring heeft voorgedaan. Eveneens komen na verloop van tijd rondom brokken A1-materiaal, die bij spitten in de C-horizont zijn terechtgekomen, grijze reductiekleuren voor. In beide gevallen wordt de grijze zone weer omsloten door een bruine verkleuring. Ook in ongestoorde profielen is de mate van reductie, zoals hierna wordt uiteengezet, in de humeuze bovengrond vaak groter dan in de humusarme ondergrond.

Het is duidelijk dat de mate van aëratie van invloed is op de oxydatie-reductieverschijnselen. In genoemde proeven wordt de zuurstoftoevoer geremd, doordat de grond geheel met water wordt verzadigd. In het veld wordt dit bereikt door hoge grondwaterstanden. De extreme vorm hiervan is het moeras met permanent zeer hoge grondwaterstanden. Zo treedt in natte rijstvelden, waar dus de bodem bedekt is door een waterlaag, vooral in de A1 een zeer sterke reductie op (De Gee, 1950).

De mate van reductie kan men afleiden uit de grijze kleuren of uit een bepaling van het gehalte aan ferro-ijzer. Grote waarde wordt door verschillende onderzoekers gehecht aan de oxydatie-reductiepotentiaal (Commonwealth Bureau of Soils, 1961; McKenzie & Erikson, 1954; Ponnampetuma, Tianco & Loy, 1967). De redoxpotentiaal hangt samen met een aantal bodemprocessen en wordt vaak gebruikt om tot een beter inzicht te komen in de mobilisatie en de neerslag van ijzer en andere elementen (Takai et al., 1956, 1957; Usuki, 1955).

De betrouwbaarheid van de redoxmetingen wordt vaak in twijfel getrokken. Met het oog op de benodigde apparatuur kunnen de metingen het best in het laboratorium geschieden. Tijdens het transport van de grondmonsters naar het laboratorium kan zich evenwel een aanzienlijke verandering van de redoxpotentiaal voordoen (Flaig et al., 1955a). Het is daarom beter om metingen in het veld en in situ uit te voeren (Matsuo et al., 1956; Stobe, 1958; Novikov, 1960). Desondanks zijn er een aantal gegevens van de redoxpotentiaal beschikbaar, die voldoende betrouwbaar lijken en die van grote waarde zijn voor het onderzoek van de gleyverschijnselen.

Ter bepaling van de gedachten kan worden gesteld, dat een redoxpotentiaal (Eh) lager dan ongeveer 100 mV op een reductietoestand en hoger dan ca. 220 mV op een oxydatietoestand duidt (mond. meded. Dr H. W. van der Marel).

Eerder werd opgemerkt, dat de voorwaarden voor een sterke reductie in natte rijstvelden optimaal zijn. Hier worden dan ook Eh-waarden van - 200 tot - 250 mV gevonden (Chirkova, 1960; Sharapov, 1960). De Gee (1950) vond als laagste waarden omstreeks 0 mV. Over het algemeen liggen de hoogste Eh-waarden omstreeks 500 mV.

Ter oriëntatie werd het Eh-verloop van een lage Veldpodzolgrond, van een zwak roestige en van een sterk roestige Beekerdgrond uit het proefgebied Hellendoorn bepaald. De monsterplekken lagen op korte afstand van elkaar en op vrijwel dezelfde hoogte ten opzichte van het grondwaterniveau, dat tussen ongeveer 30 en 110 cm -mv.

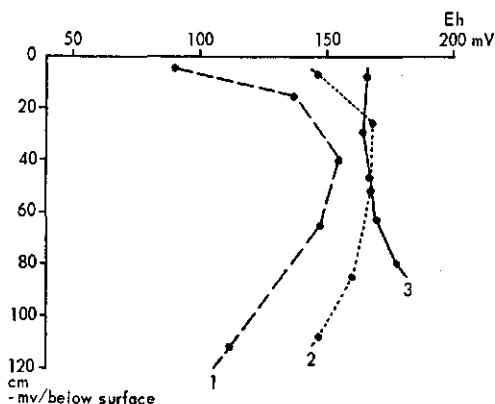


Fig. 53. Redox-potentiaal (Eh) in drie gronden van het proefgebied Vloedgraven; bepalingen door Dr H. W. van der Marel. / Redox potential in three soils in the Vloedgraven sample area; determinations by Dr. H. W. van der Marel.

1. sterk roestige Zwarte Beekeerdgrond / strongly mottled Black Beek earth soil
2. zwak roestige Zwarte Beekeerdgrond / weakly mottled Black Beek earth soil
3. Lage Veldpodzolgrond / low lying Veld podzol soil

schommelt. De monsters werden 's morgens verzameld en nog op dezelfde dag in het laboratorium onderzocht. De resultaten (fig. 53) laten zien, dat de redox meestal tussen 'gereduceerd' en 'geoxydeerd' ligt. De geringe onderlinge verschillen staan waarschijnlijk mede in verband met de veranderingen die tijdens het transport zijn opgetreden. De A1 van de sterk roestige gleygrond heeft met 90 mV een lage Eh; dit monster was dus 'gereduceerd'. Tevens werd in de twee Beekeerdgronden een aanvankelijke toename van de Eh met de diepte en vervolgens een afname gevonden.

De invloed van de organische stof op de oxydatie-reductietoestand blijkt hieruit, dat de Eh van de A1 dikwijls lager is dan die van de daaronder liggende horizonten (McKenzie & Erikson, 1954; Flaig et al., 1955b; Nozdrunova et al., 1956; Slyusarchik, 1958; Emel'yanov, 1960; Sell-Bekman et al., 1960). Dit stemt heel goed overeen met de gegevens van Scholz-König (1965, 1966), volgens welke de microbiologische activiteit in de bovengrond aanzienlijk groter is dan in de ondergrond.

Uit metingen van de redoxpotentiaal in de bodem in de loop van een jaar blijkt, dat deze in het voorjaar dikwijls scherp daalt en in de zomer weer stijgt (McKenzie & Erikson, 1954; Yamasaki, 1952). Dit stemt overeen met de waarneming, dat reductievlekken, veroorzaakt door ondergeploegde organische stof, vooral in het voorjaar optreden. Het jaarlijkse Eh-verloop is te verklaren uit het stijgen van de temperatuur in het voorjaar met als gevolg een sterk toenemende activiteit van de bodemflora en -fauna. Het verhoogde zuurstofverbruik op het moment dat de bodem nog grotendeels met water verzadigd is, leidt tot een vrij sterke reductie van het milieu. In de loop van het voorjaar en de zomer daalt het grondwaterniveau, waarop met toenemende aëratie een stijging van de redoxpotentiaal kan volgen.

Het is gebleken, dat nabij wortels een lagere Eh voorkomt dan op enige afstand daarvan (Geller, 1952; Yu & Li, 1956a, 1956b; Yu & Lee, 1957; Sharapov, 1960). Blijkbaar veroorzaakt het metabolisme van de levende of het afbraakproces van de dode wortel een zodanige verlaging van de zuurstofspanning, dat ook een verlaging van de Eh optreedt. Het ijzer wordt daarbij gemobiliseerd en rondom de wortel ontstaat een grijze zone, omgeven door een roestpijpje. Het omgekeerde wordt soms aangetroffen bij rijstwortels, die in hun directe omgeving een hogere redox hebben dan op

enige afstand daarvan (Doi, 1952; Yu & Li, 1956b; Yu & Lee, 1957). Het is aannemelijk dat dit in verband staat met de meestal zeer sterke reductie in de bodem van natte rijstvelden en met de zuurstoftoevoer naar de wortels door luchtkanalen in de stengels van de plant.

Er zijn enkele aanwijzingen dat in het inwendige van structuurelementen een lagere redox voorkomt dan aan het oppervlak. Het verschil is het grootst bij een hoog vochtgehalte en neemt af bij het uitdrogen van de aggregaten (Serdobolskii et al., 1953; Tyagny-Ryadno, 1958). In het inwendige van aggregaten zal daarom het ijzer beweeglijker zijn dan aan het oppervlak daarvan.

### 10.3.3 Transport

Het ontstaan van gleyverschijnselen betekent meestal dat er na de mobilisatie van de ijzerverbindingen transport daarvan plaatsvindt.

In Nederland is de hoeveelheid neerslag jaarlijks groter dan de verdamping. Het neerslagoverschot zakt in de bodem en wordt door sloten en beken afgevoerd, zodat gemakkelijk beweeglijke stoffen eveneens kunnen worden verplaatst, met als extreem voorbeeld het podzoleringsproces. Een neerwaartse grondwaterstroming zoals in humuspodzolen komt, zij het in mindere mate, ook in gleygronden voor. Dit blijkt o.a. uit de uitspoeling van kalk, van een deel van de kationen en, in het geval van de oligotrofe gleygronden, tevens van ijzer.

Een opwaartse grondwaterbeweging (beweging 'per ascensum', Demolon, 1966) komt in Nederland niet zo vaak voor, maar in par. 5.5 is al aangetoond, dat deze in de gleygronden periodiek aanwezig kan zijn. Omdat de ondergrond zeer goed doorlatend is, mag worden aangenomen dat het, ondanks de geringe potentiaalverschillen, toch om plaatselijk vrij grote hoeveelheden gaat.

Uit het onderzoek in de Vloedgraven volgt ook dat er een horizontale component in de grondwaterstroming voorkomt. Volgens bepaalde banen stroomt het grondwater met het daarin aanwezige ijzer van de humuspodzolen naar de gleygronden, waar het ijzer kan accumuleren, zoals schematisch in fig. 54 is weergegeven. Ook d'Hoore (1953) wijst op dit laterale ijzertransport en Remezov (1962) verklaart de voedselrijkdom van met elzen begroeide 'low humic gley soils' langs de beken en rivieren van West-Rusland uit de aanvoer van voedingselementen door het drangwater vanaf de hellingen naar de rivieren.

IJzer kan ook worden verplaatst door de onverzadigde stroming van het water in de bodem. De verplaatsing is in droge tijden vooral naar boven gericht en na neerslag vooral naar beneden. Zijdelingse stromingen vinden bijv. plaats naar de wortels. Deze stromingen van het water zijn mede verantwoordelijk voor het ontstaan van ijzeraccumulatiezones (fig. 55).

De verplaatsing van ijzer door bodemvocht kan ook op de volgende wijze worden gedemonstreerd. Een vochtige kluit grond, bestaande uit roestloze, grijze, kalkrijke, lichte klei werd aan uitdroging blootgesteld. Bij het openbreken van de gedroogde kluit bleek, dat het inwendige daarvan nog geheel grijs en roestloos was. Aan de opper-

Fig. 54. Schematische voorstelling van het transport van ijzer door grondwater van humuspodzolen naar gleygronden (naar Knibbe & Schelling, 1967). / Transport of iron by groundwater from humus-podzol soils towards gley soils (from Knibbe & Schelling, 1967).

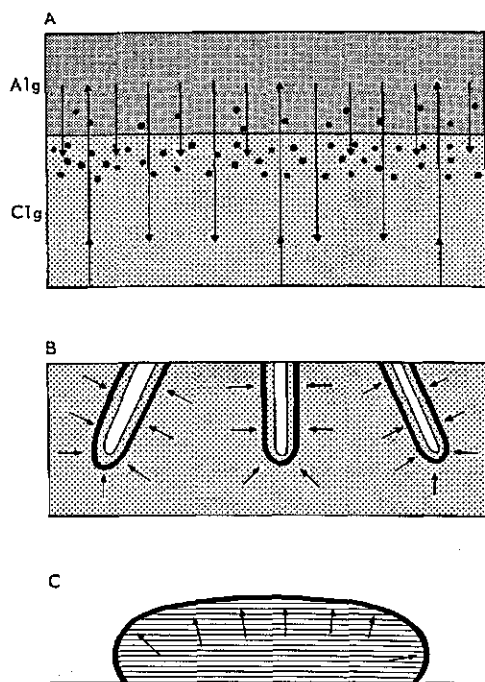
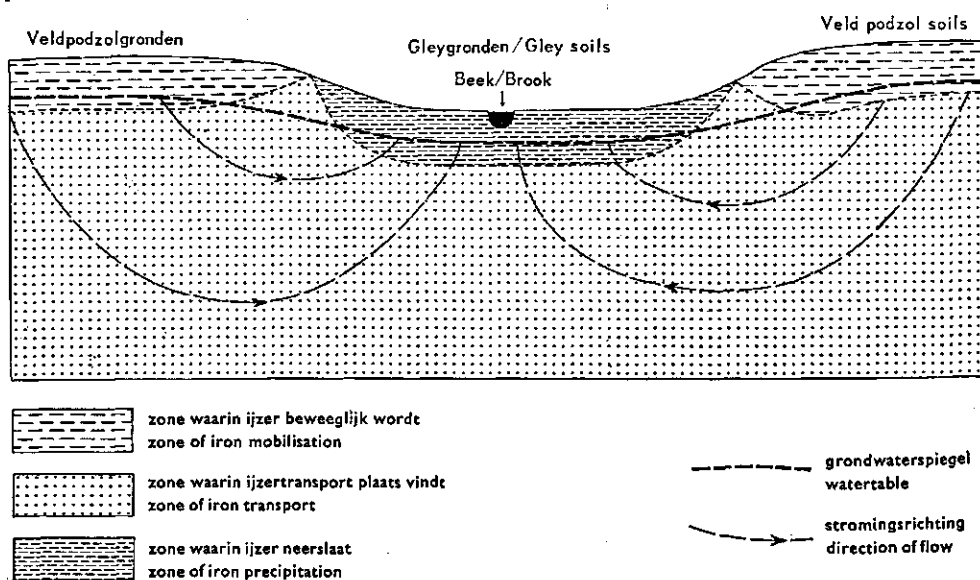


Fig. 55. IJzerverplaatsing door verschillende waterstromingen in de bodem. / Transport of iron at various conditions.

A. Bodemprofiel; opwaartse stroming bij droogte, neerwaartse stroming na neerslag. / Soil profile; upward moisture flow during drought, downward flow after rain.

B. Wortelgangen; zijwaartse stroming. / Root channels; lateral moisture flow.

C. Vochtige kluit grond; stroming naar de oppervlakte van de kluit. / Moistened soil clod; moisture flow towards the surface of the clod.

---> stromingsrichting / direction of flow

■ ■ ■ ijzeraccumulatie-zone / zone of iron accumulation

vlakte kwam een ca. 1 cm dikke bruine laag voor (fig. 55C). Blijkbaar heeft het water, dat naar de oppervlakte van de kluit stroomde, kleine hoeveelheden ijzer meegevoerd, die na verdamping van het water daar achterbleven en accumuleerden.

#### 10.3.4 Neerslag en ophoping

Het gemobiliseerde ijzer kan weer in de bodem neerslaan, waarbij meer of minder sterke ijzeraccumulaties ontstaan.

De voorwaarden waaronder dit gebeurt, zijn niet geheel duidelijk (Oades, 1963). Men heeft in overeenstemming met Mattsons iso-elektrische theorie vaak verondersteld, dat ijzer neerslaat bij een stijging van de pH. Ook de adsorptie aan reeds aanwezige ijzer- en andere oxyden zou van groot belang zijn. Verder wordt wel gewezen op de grote invloed, die bepaalde bacteriën op het neerslaan van ijzer hebben. Evenals bij de mobilisatie is de redoxpotentiaal waarschijnlijk ook een goede indicator voor het milieu, waarin het ijzer kan neerslaan.

Uit de resultaten van verschillende onderzoeken blijkt, dat de redox in de A1 soms lager is dan in de C1. Blijkbaar wordt de zuurstof in de A1 in sommige perioden van het jaar als gevolg van sterke biologische activiteit snel verbruikt, terwijl in dezelfde perioden de zuurstofspanning in de C-horizont als gevolg van de geringe biologische activiteit weinig vermindert (De Gee, 1950; Koenigs, 1950; McKenzie & Erikson, 1954; McKeague, 1965a, 1965b). De voorwaarden voor het neerslaan van ijzer in de C zijn daarom relatief gunstig in de periode van de sterke reductie in de A1. Het voorkomen van de sterkste roestconcentratie direct of op korte afstand onder de A1 is hiermede in overeenstemming.

Eerder werd al vermeld dat de Eh aan het oppervlak van structuurelementen dikwijls hoger is dan in het inwendige. Dit klopt met het feit, dat roestafzettingen meestal aan het oppervlak van de aggregaten voorkomen.

Bij de reductieproeven (par. 10.3.2) ontstond op de lange duur een scherpe grens tussen de grijze gereduceerde massa en de bovenstaande bruine vloeistof. Het grensvlak had een bruinere kleur dan de overige vloeistof erboven. Blijkbaar is er zuurstof uit de atmosfeer door diffusie in contact gekomen met de ferroverbindingen uit de grijze massa, zodat het ijzer oxydeerde en zich geleidelijk een ijzeraccumulatiezone ontwikkelde, die 'C1g'-horizont is genoemd (fig. 52).

Het ontstaan van roestpijpjes kan worden verklaard uit de aanvoer van ijzerhoudend water naar de wortel, welk ijzer na opname van het water door de wortel achterblijft en accumuleert. In de directe omgeving van de wortel overheersen echter dikwijls reductieprocessen, zodat de neerslag niet direct tegen de wortelwand, doch op korte afstand daarvan gevormd wordt.

De afzetting van ijzer in dunne horizontale laagjes, overeenkomend met de gelaagheid van het dekzand, is waarschijnlijk het gevolg van kleine verschillen in doorlatendheid, vochtgehalte, aëratie, redoxpotentiaal enz.

### 10.3.5 Verband tussen mobilisatie, transport en neerslag

Het verband tussen de drie fasen van de vorming van de gleyverschijnselen, dat in het voorgaande reeds terloops ter sprake kwam, kan nog worden toegelicht aan de hand van een modelproef en van twee berekeningen.

Als model voor het proces van de gleyvorming werd een oxydatie-reductie-proef opgezet (fig. 56). In glazen buizen, aan de onderzijde voorzien van een opening waarmee afwisselend hoge en lage 'grondwaterstanden' konden worden nagebootst, werd een bodemprofiel aangebracht, bestaande uit roestig, humeus, lemig zand, afkomstig uit de A1g-horizont van een zwarte gleygrond, rustend op roestloos, matig grof zand van het Fluviale laagterras. Daarop werd maïs geplant, om de verdamping te bevorderen. Tegelijk met elke verhoging van de grondwaterstand werd een kleine hoeveelheid suiker toegevoegd, zodat een sterk reducerend milieu werd verkregen. De aëratie werd afwisselend bevorderd en geremd door de 'grondwaterstanden' te variëren. De proef werd gedurende verschillende maanden voortgezet en enkele malen, ook met andere samenstellingen van het bodemprofiel en met enigszins gewijzigde opstellingen, herhaald. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat.

De reductie- en oxydatieverschijnselen ontwikkelen zich opmerkelijk snel, namelijk enkele dagen tot enkele weken na een verhoging en respectievelijk verlaging van de grondwaterspiegel. Een fraai gleyprofiel, bestaande uit een A1g-, een C1g- en een G-horizont, goed vergelijkbaar met dat van een normale Zwarte Beekeerdgrond, vormde zich reeds na ongeveer een maand. In dezelfde tijd ontstonden rondom de wortels van de maïsplanten roestpijpjes, die na elke reductieperiode opnieuw verschenen (foto 14). Bij de reductieprocessen ging vrij veel ijzer in oplossing, zoals bleek uit het bruin verkleuren van het water, dat uit de opening onderin de buis lekte.

De resultaten van deze proef bevestigen wat eerder over het ontstaan van gleyverschijnselen werd gezegd. Dit geldt vooral voor de invloed die een hoog grondwater-

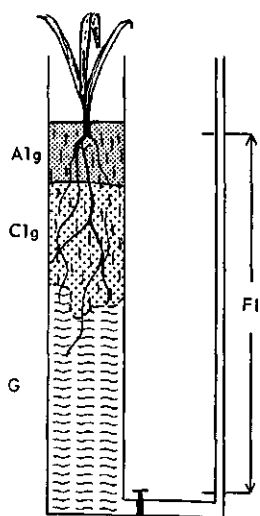


Fig. 56. Oxydatie-reductie-proef. Na ongeveer een maand is een kunstmatige gleygrond ontstaan. F1 = fluctuatie van de grondwaterspiegel. / Oxidation-reduction experiment. Because of alternating reduction and aeration an artificial gley soil developed after about a month. F1 = fluctuation of watertable.

niveau en de organische stof op de reductie hebben. De opmerkelijk korte tijd, die nodig bleek voor het optreden van de gleyverschijnselen, is uiteraard voor een belangrijk deel te danken aan de regelmatige toevoeging van suiker. Hoewel er geen proeven zonder suiker werden uitgevoerd, is het, mede gezien de reductieproeven uit par. 10.3.2, waarschijnlijk dat de gleyverschijnselen ook onder normale omstandigheden vrij snel optreden.

Een eerste kwantificering ter toetsing van het veronderstelde proces van de gleyvorming werd reeds door Knibbe & Schelling (1967) gepubliceerd. Zij gaan uit van een bepaald transportmodel, waarbij het ijzer van de Veldpodzolgronden afkomstig is, door grondwater naar de gleygronden wordt vervoerd en aldaar neerslaat (fig. 54). Zij veronderstellen een ijzergehalte van het grondwater van 10 mg Fe/l, een jaarlijks transport van 300 mm grondwater naar een rodoornige gleygrond en in deze grond een 10 cm dikke laag met 20%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . De conclusie luidde dat onder de gestelde voorwaarden deze rodoornige laag in 3000 jaar, dat is in één derde van de totaal tijdens het Holoceen beschikbare tijd, kan worden gevormd.

De tweede berekening gaat er van uit dat de hoeveelheid ijzer, die uit bepaalde gronden van een gebied uitspoelt, gelijk moet zijn aan de hoeveelheid die in andere gronden van hetzelfde gebied neerslaat. De noodzakelijke voorwaarde hiervoor, nl. dat het betrokken gebied een gesloten hydrologische eenheid vormt, althans dat de aanvoer gelijk is aan de afvoer naar andere gebieden, is moeilijk te controleren. We nemen evenwel aan dat dit met een groot dekzandgebied zoals Luttenberg, met ruim 5000 ha oppervlakte, het geval is. Verder kan de verhouding van de oppervlakte Veldpodzolgronden tot die van de gleygronden in Luttenberg op ongeveer 3:1 worden gesteld. Vervolgens kunnen de gegevens over het ijzergehalte van het profiel Schanenbroek in Luttenberg worden gebruikt (fig. 57). Het ijzerverlies van de podzolgronden kan op 0,2% over een laagdikte van 40 cm en de ijzeraccumulatie in de gleygronden op 2,5% over een laagdikte van 10 cm worden gesteld. De totale uitspoeling van ijzer in Luttenberg kan, met weglating van de eenheden en van gegevens die in beide gevallen gelijk zijn, worden weergegeven door  $\frac{3}{4} \times 0,2 \times 40$ , hetgeen nagenoeg gelijk is aan de ijzeraccumulatie, die als  $\frac{1}{4} \times 2,5 \times 10$  kan worden geschreven.

## 10.4 Bijzondere gleyverschijnselen

### 10.4.1 Inleiding

In het volgende wordt in de eerste plaats ingegaan op het ontstaan en de eigenschappen van een aantal bodemkundige verschijnselen, die in nauw verband staan met oxydatie en reductie en daarom tot de gleyverschijnselen worden gerekend. Het betreft hier ijzeroer, vivianiet, sideriet en zogenaamde kattegronden. In de tweede plaats worden fossiele gley en pseudogley besproken, dat zijn gleyverschijnselen die samenhangen met een niet meer bestaand hydrologisch regiem, respectievelijk met de veronderstelde aanwezigheid van een schijngrondwaterspiegel.

#### 10.4.2 IJzeroer

Op vele plaatsen in het pleistocene deel van Nederland, vooral in het gebied ten oosten van de IJssel, langs de kleine rivieren en in de gleygronden, wordt ijzeroer, ook wel moerasijzererts genoemd, gevonden. In het verleden is veel daarvan afgegraven voor de ijzersmelterijen, bijv. van Deventer (Staring, 1846). Tegenwoordig is de winning zeer beperkt. Het werd tot voor kort nog benut voor de zuivering van gas in gasfabrieken (Anderson, 1962). In Groningen werden ijzerrijke gronden beschreven door Buringh (1948) en De Smet (1951), die de gronden met de plaatselijke benaming rodoorn of rodoornige gronden aanduiden. In Overijssel is de verbreiding van rodoornige gronden langs de kleine rivieren betrekkelijk regelmatig, in tegenstelling tot de dekzandgebieden, waar het voorkomen dikwijls zeer lokaal is (Knibbe & Van den Akker, 1966).

In tabel 25 zijn van ijzeroer en van sommige andere mineralen enkele cijfers van de totale chemische samenstelling gegeven. Uiteraard is in ijzeroer steeds veel ijzer, tot meer dan 50%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , aanwezig. Verder bestaat het grotendeels uit  $\text{SiO}_2$ . Er zijn tevens diverse nevenelementen aanwezig, zoals P, Ti en Mn. Meestal is de hoeveelheid mangaan niet groot, in de orde van grootte van 0,0 tot 0,5%  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ . In verschillende gleygronden bij Bathmen bedraagt volgens een onderzoek van Dr. J. Schelling het Mn-gehalte ongeveer 50 dpm; de hoogste gevonden waarde is 545 dpm. Globaal gesproken is het Mn-gehalte honderdmaal zo klein als het ijzergehalte in deze gleygronden. In de oude rivierkleigronden komen veel ca. 1 mm grote ijzermangaanconcreties voor, maar het mangaangehalte, berekend op de grond, is volgens gegevens van Ir. J. N. B. Poelman ongeveer 0,1% met als hoogste waarde ongeveer 0,4%. In de ijzermangaanconcreties die door Roslikova (1961) werden onderzocht en waarvan de genese vermoedelijk sterk afwijkt van die van de concreties in de gleygronden, komt een sterk wisselende hoeveelheid Mn voor, variërend van 0 tot 8%. In Denemarken komt zelfs moerasijzererts voor dat 10 tot 20% mangaan bevat.

Zoals in par. 10.3.5 is vermeld, kan de ijzerverrijking van de gleygronden in de dekzandgebieden worden verklaard door de aanvoer van ijzerverbindingen met opstijgend grondwater. Deze verklaring voldoet echter niet voor het ontstaan van de rodoornige gronden langs de kleine rivieren. De hoeveelheid ijzer is daar namelijk veel te groot om aan een plaatselijke herkomst te kunnen worden toegeschreven. Bovendien komt het vaak op verschillende diepten, soms min of meer gehomogeniseerd, in andere gevallen duidelijk geogeen gelaagd, voor. Nu ontvangen de kleine rivieren, zoals de Vecht, veel ijzerhoudend water uit de oligotrofe zand- en veengebieden van Drente en Duitsland. Dit ijzer werd tegelijk met zand en andere minerale delen tijdens overstromingen afgezet, waarna soms enige verplaatsing in het bodemprofiel tot bepaalde accumulaties leidde. De activiteit van mens en dier hebben in verschillende gevallen de homogenisatie van het ijzer in de hand gewerkt (Knibbe & Van den Akker, 1966).

Omtrent de ouderdom van de ijzeroerafzettingen valt weinig met zekerheid te zeggen. Uiteraard zijn ze even oud of jonger dan de afzetting, waarin ze thans worden



Tabel 25. Samenstelling (%) van ijzeroer, ijzermangaanconcreties, vivianiet, sideriet en moeraskalk. De cijfers zijn onderling moeilijk vergelijkbaar, o.a. als gevolg van verschillende bepalingmethoden. / Composition of iron ore, iron-manganese concretions, vivianite, siderite and bog lime. Due to different sampling and other methods the figures are not fully comparable.

	CaO	CO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Auteur / author
<b>Ijzeroer / iron ore</b>						
Tubbergen	0,45	–	0,20(MnO)	2,68	51,31	Van Bemmelen, 1900
Stroe	0,45	–	–	0,16	39,03	Van Bemmelen, 1900
Loo	0,6	–	0,2(MnO)	0,9	31,2	Van Bemmelen, 1900
Barneveld	0,01	–	4(MnO)	0,25	49	Van Bemmelen, 1900
Barneveld	0,38	sp.	0,04	1,38	19,70	Tabel 26
Barneveld	0,59	0	0,32	1,53	38,49	Tabel 26
Zuidbroek	2,10	–	0,05	4,04	54,06	Van der Marel, 1951
Marum	1,47	–	sp.	2,59	45,71	Van der Marel, 1951
Meden	0,76	–	0,06	1,26	49,09	Van der Marel, 1951
Marum	1,46	–	sp.	1,06	21,07	Van der Marel, 1951
Ommen	0,81	–	sp.	0,57	17,89	Van der Marel, 1951
<b>Ijzermangaanconcreties / iron-manganese concretions</b>						
Gemiddelde van / average of						
10 monsters / samples	1,07	–	2,87(MnO)	0,17	26,36	Roslikova, 1961
6 monsters / samples	–	–	3,14(MnO)	–	25,16	Roslikova, 1961
3 monsters / samples	–	–	1,65(MnO)	–	27,39	Roslikova, 1961
2 monsters / samples	0,80	–	4,13(MnO)	0,20	24,12	Roslikova, 1961
3 monsters / samples	0,76	–	2,72(MnO)	0,18	28,72	Roslikova, 1961
<b>Vivianiet / vivianite</b>						
–	–	0,0	–	17,57	36,10	Van Bemmelen, 1900
Barneveld	1,06	0,0	0,45	5,65	36,65	Tabel 26
Barneveld	0,33	0,0	0,10	5,73	32,88	Tabel 26
Barneveld	0,79	0,0	0,54	5,01	34,12	Tabel 26
Valtermond	–	–	–	21	38,9	Reinders, 1902
Heenkermaten	–	–	–	16,6	46,4	Reinders, 1902
<b>Sideriet / siderite</b>						
Emmercompascuum	0,6	34,7	–	–	62,2	Van Bemmelen, 1900
Ederveen	1,30	10,50	2,72	1,71	27,79	Reinders, 1896 zie ook tabel 27
<b>Moeraskalk / bog lime</b>						
Koordes	45,7	36,6	–	–	3,21	Tabel 19
<b>Kalkrijke leem / calcareous loam</b>						
Koordes	12,4	13,1	–	–	6,14	Tabel 19

aangetroffen. Voor de gleygronden van de dekzandgebieden kan het ijzeroer dus hoogstens van pleniglaciale of laatglaciale ouderdom zijn. Voor het Vechtgebied ten oosten van Zwolle kan, met enig voorbehoud, op grond van pollenanalytisch onderzoek worden gezegd, dat de zandige en kleiige bovengrond in het Subatlanticum werd afge-

zet en dat dus het daarin voorkomende ijzeroer waarschijnlijk eveneens zeer jong is. De rodoorns uit de oudste Dollardpolders, waarvan het sediment uit de 14de of de 15de eeuw stamt, kunnen dus hoogstens deze ouderdom bezitten (Buringh, 1948). Lüders (1965) dateerde de oudste van drie ijzeroerafzettingen met behulp van de pollenanalyse van enkele veenlagen als Boreaal en de jongste afzetting als Subboreaal.

De verklaring van de grote verbreiding van de rodoornige gronden in het gebied ten oosten van de IJssel zoeken we in de goede doorlatendheid van de ondergrond, vooral in Salland, zodat het ijzerhoudende grondwater betrekkelijk onbelemmerd aan de dag kan treden. Het relatief veel voorkomen van moeraskalk in Salland is mogelijk tot dezelfde oorzaak te herleiden. In de Gelderse Vallei, waar de omstandigheden niet zoveel van die in Salland afwijken, ontbreekt evenwel het goed doorlatende zand van het Fluviatiele laagterras. Het daar minder voorkomen van rodoornige gronden zou hiermee in verband kunnen staan. Het is heel goed mogelijk dat het mariene, glauconiethoudende Mioceen, dat op verschillende plekken in Twente en in de Achterhoek betrekkelijk ondiep voorkomt, bijdraagt tot een hoger ijzergehalte van het grondwater. De Vries (i.v.) constateerde, dat in bepaalde delen van de Gelderse Achterhoek, waar Eemafzettingen voorkomen, in het grondwater vrij veel ijzer en betrekkelijk weinig sulfaat aanwezig is. Dit zou naar zijn mening het gevolg kunnen zijn van de reductieprocessen, die ten gevolge van de aanwezigheid van organische stof in de Eemafzettingen optreden.

Een bijzondere vorm van waterbeweging waarbij ijzeraccumulatie voorkomt, is het wijstverschijnsel, bekend uit oostelijk Noord-Brabant. In de tektonisch opgeheven terreingedeelten, o.a. de Peelhorst, stroomt het grondwater zijdelings in de richting van de slenken. Nabij de breuk stagneert het water op het slecht doorlatende materiaal, dat daar als gevolg van de versmering tijdens de breukvorming aanwezig is of op het minder goed doorlatende zand van de slenk. Het topografisch hoogste terreingedeelte (van de horst) is als gevolg hiervan natter dan het lagere terrein in de slenk. Het water treedt hier aan de dag en het ijzer dat daarin voorkomt slaat neer.

#### 10.4.3 Vivianiet

Vivianiet is een ijzerfosfaat,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ , dat in oorspronkelijke toestand grauwwit van kleur is en zich dan niet van sideriet onderscheidt. Bij blootstelling aan de lucht verandert de kleur in een opvallend blauw, vandaar de naam blauwe klie. Na langere tijd gaat de kleur vaak over in roodbruin.

We troffen vivianiet aan ten noorden van Lemelerveld in de Dalmsholte en bij Barneveld, in beide gevallen in een met veen en zand afgedekte beekloop. Op 0,5—1 m diepte beneden het huidige maaiveld lag ijzeroer, met een scherpe overgang rustend op de plaatselijk 30 cm dikke vivianietlaag (tabel 26, foto 15). Van Heuveln (1958) beschreef een soortgelijk voorkomen van vivianiet uit het oostelijke veengebied van Drente. De 'veenmineralen' lagen hier op ongeveer 220 cm diepte in een 335 cm dik veenpakket, dat op zand rustte. Evenmin als in de Dalmsholte en bij Barneveld ligt onder het veen een podzolprofiel. In zekere zin gaat het hier dus om een gleygrond.

Tabel 26. Analysegegevens van het ijzeroer-vivianietprofiel Barneveld / Analytical data of the iron ore vivianite profile Barneveld.

Diepte Depth in cm	Horizont Horizon	pH KCl <sup>1</sup>	% van de grond <sup>1</sup> % of soil		granulaire samenstelling <sup>1</sup> grain size distribution			
			CaCO <sub>3</sub>	org. stof org. matter	<2µm	0-50µm	50-150µm	150-2000µm
0-30	Alg	5,2	0	2,9	4,5	19	51	30
30-70	Cl1g	5,8	0,1	1,6	8	20	50	30
70-80	Cl2g	5,9	1,7	2,0	8	17	39	44
80-95	vivianiet	4,6	0	11,5	11	27	25	48
95-110	vivianiet	4,4	0	8,3	5	17	24	59
110-120	leemlaagje / loamy layer	4,6	0	1,6	7	22	55	23
120-130	zand / sand	5,8	0	0,5	4	9	59	32
ca. 80 <sup>3</sup>	ijzeroer / iron ore	5,9	0,5	5,9	9	27	31	42
ca. 100 <sup>3</sup>	vivianiet	4,5	0	4,5	5	17	29	54

Tabel 26. Vervolg / continued

Diepte Depth in cm	Sals / as SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	% oplosbaar / soluble in 10% HCl <sup>2</sup>									
		K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
0-30	0,06	0,048	0,008	0,130	0,038	0,018	0,237	0,05	1,35	0,65	1,28
30-70	0,02	0,092	0,008	0,163	0,055	0,060	0,42	0,06	3,88	0,83	2,15
70-80	0,02	0,098	0,012	0,385	0,045	0,040	1,38	0,08	19,70	0,63	6,84
80-95	0,16	0,028	0,006	1,06	0,040	0,450	5,65	0,18	36,65	1,22	9,32
95-110	0,52	0,024	0,006	0,335	0,034	0,100	5,73	0,14	32,88	0,65	14,65
110-120	0,21	0,028	0,004	1,98	0,075	0,038	0,96	0,05	3,18	0,40	1,45
120-140	0,07	0,018	0,004	0,111	0,060	0,002	0,018	0,03	0,26	0,28	0,64
ca. 80 <sup>3</sup>	0,01	0,008	0,004	0,589	0,063	0,320	1,53	0,15	38,49	sp./trace	2,26
ca. 100 <sup>3</sup>	0,02	0,008	0,008	0,795	0,100	0,540	5,01	0,16	34,12	2,13	8,95

1. Analyse van het Bedrijfslaboratorium Oosterbeek.

2. Analyse van Dr. H. W. van der Marel.

3. Monsters uit de naaste omgeving / Samples from a nearby profile.

In vivianiet komt 5 tot 20% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en eveneens veel ijzer, namelijk 30 tot 50% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> voor (tabel 25). Uit de analyses van het ijzeroer blijkt, dat daarin een soms niet onbelangrijke hoeveelheid fosfaat, tot 4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, voorkomt. Blijkbaar kan er in ijzeroer vrij veel fosfaat worden vastgelegd (vgl. fosfaatfixatie in ijzerrijke gronden).

Gezien de ligging van vivianiet op lage natte plekken in het landschap, in gronden waarin tevens vaak ijzeroer en sideriet voorkomen, is enige overeenkomst in de ontstaanswijze van deze drie ijzerverbindingen waarschijnlijk. Uit verwerking elders, bijv. van apatiet, is fosfaat vrijgekomen, dat met het grondwater naar lage kwelplekken

wordt vervoerd, waar onder overigens gunstige omstandigheden en in aanwezigheid van ijzer, vivianiet ontstaat (Van Heuveln, 1958).

#### 10.4.4 Sideriet

Sideriet,  $\text{FeCO}_3$ , ook wel witte clien of siderose (sideros = ijzer) genoemd, komt wat meer verbreid voor dan vivianiet. In Salland werd het op verschillende plekken, meestal onder een ijzeroerlaag aangetroffen. Gegevens over de samenstelling van sideriet zijn vermeld in tabel 25. In tabel 27 is de volledige analyse van een sideriet-monster afkomstig uit Ederveen gegeven.

Het ijzeroer/moeraskalkprofiel van Koordes bevat eveneens sideriet, althans wanneer aangenomen wordt, dat het carbonaat hier slechts als ijzer- of als calciumcarbonaat voorkomt (tabel 28).

Ook sideriet zou zijn ontstaan door de aanvoer van de componenten van elders door het grondwater (Van Heuveln, 1958; Deer, Howie & Zussman, 1962). Het ijzer-carbonaat slaat neer onder anaërobe omstandigheden en bij een daling van de koolzuurspanning. Met het laatste wordt bedoeld, dat de voortdurende aanvoer van bicarbonaat uit de ondergrond en de uitwisseling van koolzuur met de atmosfeer onder overigens gunstige omstandigheden tot neerslag leidt. Wanneer een siderietafzetting ten gevolge van de verlaging van de grondwaterstand in contact komt met atmosferische zuurstof, valt het onder deze omstandigheden instabiele ferrocabonaat uiteen, met als eindproduct o.a. ferrioxiden. Het is daarom heel goed mogelijk dat een deel van het ijzeroer uit sideriet is ontstaan.

Tabel 27. Samenstelling van sideriet Ederveen / Composition siderite Ederveen (Reinders, 1896).

Elementaire samenstelling in %				Totale samenstelling in %			
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	27,79	$\text{SO}_3$	0,04	$\text{FeCO}_3$	20,77	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10,58
$\text{Mn}_2\text{O}_4$	2,72	$\text{CO}_2$	10,50	$\text{MnCO}_3$	4,04	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,95
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,95	KCl	0,03	$\text{CaCO}_3$	2,27	KCl	0,03
CaO	1,30	NaCl	0,23	$\text{MgCO}_3$	0,17	NaCl	0,23
MgO	0,08	$\text{SiO}_2$	sp./trace	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$	4,30	$\text{SiO}_2$	sp./trace
$\text{P}_2\text{O}_5$	1,71			$\text{CaSO}_4$	0,07		

Voorts / and 49,4% zand, 1,6% organische stof, 5,7% water.

Tabel 28. Carbonaat- en ijzergehalte van twee monsters van het ijzeroer-moeraskalkprofiel Koordes / Carbonate and iron content of two samples from the iron ore bog lime profile at Koordes.

Diepte / Depth in cm	Monster / Sample	% $\text{CaCO}_3$	% $\text{FeCO}_3$	% $\text{Fe}_2\text{O}_3$
57-65	moeraskalk / bog lime	81,7	1,7	2,1
152-170	leem / loam	22,2	8,9	0,0

Zie ook tabel 19 / See also Table 19.

#### 10.4.5 Kattegronden

Het reeds lang bekende verschijnsel van de katekleigronden heeft in de laatste jaren varianten gekregen in de vorm van katezand- en kateveengronden.

Katteklei komt vooral voor in de zeekelegebieden, waar het o.a. door Van der Spek (1950) werd bestudeerd. In de betrokken mariene sedimenten komen sulfaten voor, die onder afsluiting van de lucht en in aanwezigheid van organische stoffen worden gereduceerd tot zwavelijzer (pyriet). Wanneer aëratie optreedt, bijv. ten gevolge van diepspitten of diepere ontwatering, wordt pyriet geoxydeerd en gehydroliseerd tot verschillende vormen van basisch ferrisulfaat. Wanneer het hierbij vrijkomende zwavelzuur niet door kalk wordt geneutraliseerd of wordt uitgespoeld, ontstaat een zeer zure reactie. In het bodemprofiel ontstaan karakteristieke gele vlekken, bestaande uit ferriverbindingen, waaraan deze katekleigronden hun naam ontleen. De vlekken hebben vaak de vorm van pijpjes rondom oude wortelkanalen en zijn vergelijkbaar met gleyverschijnselen.

Het voorkomen van met kateklei vergelijkbare verschijnselen in zandgronden was reeds bekend aan Van Bemmelen (1863). Hij wees erop, dat bij Ootmarsum de gewassen op bepaalde percelen slecht groeiden als gevolg van de aanwezigheid van ijzervitriool. In 1896 veronderstelde Reinders dat de oorzaak van de aanwezigheid daarvan ligt in de aanvoer van zwavelverbindingen door kwelwater uit de heuvels in de omgeving, die mariene tertiaire afzettingen bevatten. In 1964 werd het verschijnsel opnieuw door Wind en Steeghs in discussie gebracht. Zij verbonden er de naam 'katezand' aan. In 1968 publiceerde Poelman de resultaten van zijn onderzoek van katezand. Zowel Wind en Steeghs als Poelman volgen bij hun verklaring van het ontstaan de gedachtengang van Reinders, die overeenkomt met die van Van der Spek. Uit het onderzoek van het katezandfenomeen is o.a. gebleken, dat dit veel meer voorkomt dan aanvankelijk werd verondersteld en dat het zeker niet beperkt is tot de onmiddellijke omgeving van het gestuwde Tertiair van Twente. Zeer onlangs werd ook in veengronden in noordwest Drente, na herontginning een zeer zure reactie gevonden, waarvoor dezelfde oorzaak, nl. de oxydatie van pyriet kon worden aangewezen. Hieraan werd de naam 'katerveen' verbonden. De zwavel is hier afkomstig van sulfaten uit zeewater (Van den Hurk & Westerveld, 1968).

De voorwaarden, waaronder zwavel, ijzer, carbonaat, fosfaat en calcium worden opgehoopt, zijn vooral de aanvoer van deze stoffen door het grondwater, de oxydatie-reductietoestand en de ligging van de verschillende carbonaatevenwichten (voor dit laatste: Ponnamperuma, 1968). Voor wat betreft de katezanden is het opmerkelijk, dat van alle pompstations in Overijssel het station Oldenzaal verreweg het hoogste sulfaatgehalte, ruim 200 mg  $\text{SO}_4/\text{l}$ , oplevert, hetgeen op een verband met het optreden van katezand in Twente schijnt te wijzen. In Raalte en St. Jansklooster (Vollenhove) werd 64 en 30 mg/l gevonden, terwijl de andere stations in Overijssel veel lagere gehalten opgeven (Waterleiding Maatschappij Overijssel, 1964). Het cijfer van 200 mg/l komt ongeveer overeen met het sulfaatgehalte, dat Wind en Steeghs bij Ootmarsum in put- en slootwater aantreffen. Mogelijk is er ook een verband met het optreden van

Eemafzettingen in de ondergrond. De Vries (i.v.) althans vond dat in het diepe grondwater ter plaatse van deze afzettingen verhoudingsgewijs lage sulfaatgehalten en hoge ijzergehalten voorkomen.

#### 10.4.6 Fossiele gleyverschijnselen

Gleyverschijnselen kunnen fossiel zijn, dwz. dat zij een gevolg zijn van thans niet meer aanwezige omstandigheden. Omdat in de gleygronden een sterke verlaging van het grondwaterniveau heeft plaatsgehad, is de kans groot dat de nu aangetroffen gley op zijn minst ten dele in verband staat met de vroeger veel nattere omstandigheden en dus fossiel moet worden genoemd.

De Roo (1953) beschreef een typisch voorbeeld van fossiele gley. In een perceel grasland komen duidelijke roestverschijnselen vanaf het oppervlak tot op 85 cm diepte en tussen 260 en 310 cm diepte voor. Als gevolg van een recente verlaging van het grondwaterniveau, samenhangend met de onttrekking van grondwater voor de drinkwatervoorziening, is de oppervlakkige roest fossiel geworden en heeft zich in de ondergrond nieuwe actuele roest ontwikkeld.

Een ander voorbeeld heeft betrekking op de gleygronden in het Beekbergerwoud ten zuidoosten van Apeldoorn (Van Spreekens, 1870). In dit elzenbos was de bodem in de winter bedekt met een ca. 70 cm dikke laag water, terwijl het alleen in droge zomers te voet toegankelijk was. Bijna 100 jaar later, nu de gronden goed ontwaterd zijn, blijkt dat zij normale gleyverschijnselen tot op ongeveer 100 cm diepte vertonen (Kraanen, 1961). Het is heel goed mogelijk, dat de roestvlekken in de A1g en in het bovenste deel van de C1g nog dateren uit de tijd van vóór de ontginning en dus fossiel zijn. De dieper voorkomende roest is sindsdien ontstaan en daarom actueel.

Domhof (1958) vermeldt een geval van grondwaterstandsverhoging als gevolg van de plaatsing van een stuw in de Schipbeek bij Bathmen. Na 25 jaar bleek, dat de reductieverschijnselen zich hadden aangepast aan de verhoogde grondwaterstanden. Direct onder de vrij sterk gereduceerde zode bevond zich nog de oorspronkelijke, roodbruin gekleurde, ijzeroerlaag; daaronder was het gehele profiel gereduceerd. Uit dit onderzoek is duidelijk geworden, dat de gleyverschijnselen, en daarvan vooral de reductievlekken, zich snel kunnen aanpassen aan het gewijzigde hydrologische regime.

Uit de modelproeven (par. 10.3) blijkt, dat gleyverschijnselen in nog veel kortere tijd dan bovenstaande voorbeelden aangeven, zelfs binnen een tijdsverloop van enkele weken, kunnen ontstaan. Alle roest en reductie is hier uiteraard actueel.

De ervaring heeft geleerd, dat van de gleyverschijnselen vooral de reductievlekken als kenmerk voor het vaststellen van de grondwatertrap geschikt zijn (par. 5.3). De roestverschijnselen voldoen in dit opzicht minder goed.

Over het algemeen blijkt dat reductieverschijnselen zich sneller dan roestvlekken aanpassen bij gewijzigde hydrologische omstandigheden. De oorzaak hiervan zou kunnen zijn, dat reductieprocessen, bijv. onder invloed van organische stof, sneller verlopen dan oxydatieprocessen. Het is evenwel ook mogelijk, dat de hoeveelheid te

oxyderen, respectievelijk te reduceren ijzer een rol speelt. Deze is in roestvlekken vele malen groter dan in reductievlekken. Bij de algemene grondwaterstandsverlaging waarmee men in Nederland in de regel te maken heeft, zullen de oppervlakkig voorkomende reductievlekken vrij snel kunnen worden geoxydeerd, maar het zal in geval van een stijging van het grondwater vrij veel tijd kosten om de roest te reduceren.

Samenvattend kan worden gezegd, dat roestvlekken in het bovenste deel van de gleygronden, althans ten dele, fossiel zijn en in het onderste deel van het profiel actueel. De reductievlekken zijn geheel of overwegend actueel.

#### 10.4.7 Pseudogley

In de Duitse bodemkunde wordt onderscheiden in gley (of echte gley) en pseudogley. Deze laatste term werd door Kubiena (1953) geïntroduceerd en door Mückenhausen (1962) in de bodemclassificatie opgenomen. In gronden waarin een storende laag (Staukörper) voorkomt, kan daarboven in natte perioden tijdelijk grondwater (Staunässe) aanwezig zijn. De hiermede samenhangende gleyverschijnselen worden pseudogley genoemd. Pseudogleygronden komen vooral in oudere afzettingen voor, bijv. in Riss-keileem, Riss-löss en oude Würm-löss, omdat juist in deze gronden voldoende tijd beschikbaar was voor het vormen van de slecht doorlatende laag (Mückenhausen, 1963).

Men kan zich afvragen of de theorie, die aan het onderscheiden van pseudogley ten grondslag ligt, juist is. In het volgende wordt gepoogd aan te tonen, dat de theorie hydrologisch onvoldoende gefundeerd is en dat de karakteristieke morfologie die met pseudogley wordt aangegeven, vrij zeker met een zekere mate van degradatie van de betrokken gronden heeft te maken.

In de eerste plaats bestaat er geen duidelijk onderscheid tussen de echte en de schijn-grondwaterspiegel. Mückenhausen (1963) zegt hiervan zelf, dat "du point de vue hydrostatique il n'y a aucune différence entre ces deux types de nappes". In de tweede plaats is in Nederland gepoogd het bestaan van schijngrondwaterspiegels aan te tonen door Cnossen & Heijink (1958) in keileem, door Kanters & van Oosten (i.v.) in oudpleistocene leem en door Domhof, Haans & Knibbe (1965) in rivierleem en tertiaire leem. Met behulp van gewone grondwaterstandsbuizen van verschillende lengte of met potentiaalbuizen werd aangetoond, dat in nagenoeg alle gevallen in deze gronden, die sterk overeenkomen met pseudogleygronden, het gedrag van het grondwater normaal is. Verder zijn er geen publikaties gevonden, waarin het bestaan van een tweede grondwaterspiegel wordt aangetoond. Voorts heeft Zakosek (1960) er op gewezen, dat het verband tussen de profielontwikkeling en de mate van Staunässe niet bijzonder nauw is. In lössgronden bijv. komt bij zwakke Staunässe reeds sterke pseudogley voor. Behalve Staunässe heeft vooral de aard van het moedermateriaal een grote invloed op de profielontwikkeling van de pseudogleygronden. In het systeem van bodemclassificatie voor Oost-Duitsland, dat door Ehwald (1966) wordt voorgesteld, komt een onderscheid tussen pseudogley en echte gley voor (Staugley en Grundgley). Evenwel zegt Ehwald, dat dit onderscheid in vele gevallen onzeker is, omdat de mor-

fologische kenmerken in beide gevallen veel overeenkomst hebben en omdat over het verschil in grondwaterhuishouding nauwelijks iets bekend is.

Waarschijnlijk hebben pseudogleygronden een vrij grote fluctuatie van de grondwaterspiegel, waarbij de hoogste standen tot aan of tot dicht onder het maaiveld reiken. Deze grote fluctuaties hangen samen met de hoge ligging van de gronden ten opzichte van de omgeving en met de betrekkelijk geringe doorlatendheid van het materiaal.

De bodemvorming in de als pseudogley aangeduide gronden wijst erop, dat de gronden in een vrij ver gevorderd stadium van 'degradatie' verkeren. Het zijn vaak kalkloze gronden met een lage basenverzadiging en met een textuur-B die in afbraak verkeert. De mobiliteit van ijzer is vrij groot, hetgeen blijkt uit de sterke concentraties van roest, die karakteristiek voor pseudogley zijn. Het ijzer wordt over korte afstanden verplaatst (enkele centimeters tot enkele decimeters). In vele pseudogleygronden wordt zelfs een oppervlakkige podzolering in de vorm van een min of meer duidelijke humus-podzol-B gevonden.

Uit het voorafgaande blijkt, dat het pseudogleyverschijnsel samenhangt met normale hydrologische toestanden en in dit opzicht een normaal gleyverschijnsel is. In pedogenetisch en morfologisch opzicht is het onderscheiden van pseudogleygronden nuttig, omdat het gronden zijn, waarin de afbraak van de textuur-B horizont en de ijzerverplaatsing belangrijke actuele processen zijn.



## 11 Vergelijkend overzicht van de bodemvorming

### 11.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een samenvattende vergelijking van de bodemvorming in de gleygronden en die in de humuspodzolen gegeven. In de eerste plaats zal worden ingegaan op de zijdelingse overgangen tussen beide gronden, die in een aantal lange profielwanden en in enkele doorsneden, met behulp van boringen of profielkuilen samengesteld, werden waargenomen. Vervolgens zal een schets van de bodemkundige geschiedenis van de gleygronden, vergeleken met die van de humuspodzolen, worden gegeven.

### 11.2 Dwarsdoorsneden

Wanneer een ontsluiting een zodanige afmeting heeft, dat daarin de zijdelingse overgang van een gleygrond naar een humuspodzolprofiel zichtbaar wordt, kan de bodemvorming van de gleygronden met die van de humuspodzolen worden vergeleken. De zijdelingse overgangen werden op enige plekken in bijv. de sleuven ten behoeve van de aanleg van de aardgasleiding van Ommen naar Bathmen gevonden. Het overgangstraject van een gleygrond naar een humuspodzol is soms slechts enkele meters lang (foto 16). De afstand kan veel groter zijn, zoals in het in par. 9.3 reeds ten dele besproken en hier verder te behandelen dwarsprofiel Schanenbroek (fig. 46).

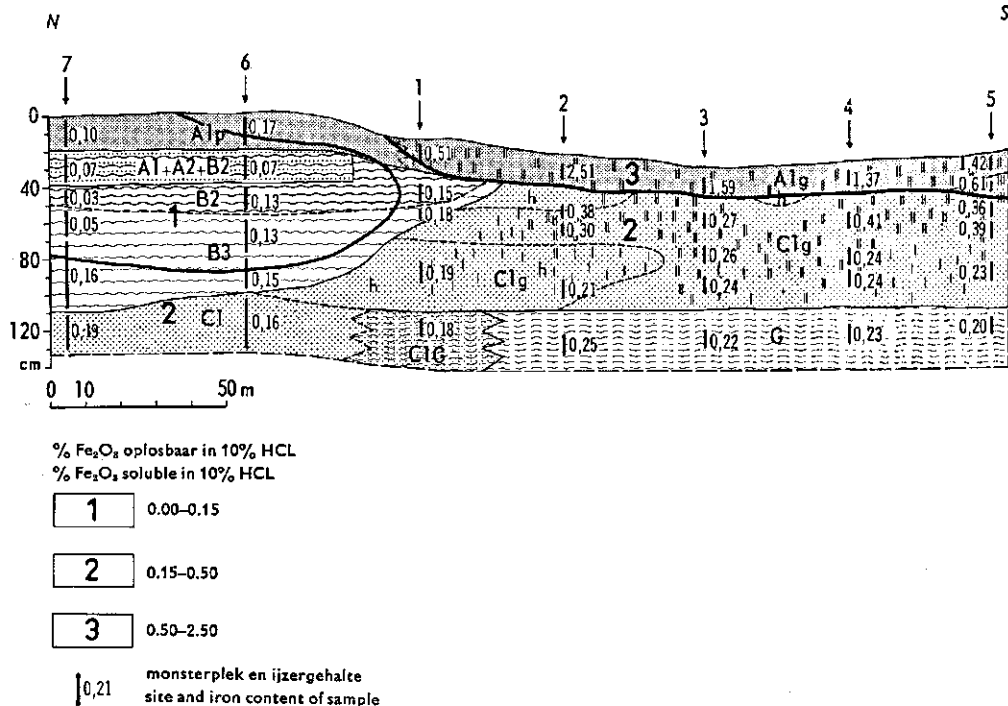
Figuur 46 werd samengesteld met behulp van kuilen en tussenboringen. De totale lengte is 300 m, het hoogteverschil bedraagt maximaal 30 cm over een afstand van ongeveer 150 m. Er werd geen kalk gevonden; de verspreiding van de pH vertoont geen duidelijk beeld, wel komen de lagere pH's (pH-KCl 4,0 à 5,0) voor in de bovengrond van de humuspodzolen. Het overige deel, in het bijzonder de ondergrond van de gleygronden, heeft hogere pH's, schommelend tussen 5,0 en 6,0.

Het grootste deel van het profiel heeft een min of meer normaal ijzergehalte: 0,20 tot 0,40%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . In een gedeelte van de podzolen echter is het gehalte bijzonder laag: < 0,15%, in de bovengrond van de gleygronden weer veel hoger: 1 à 2% (fig. 57).

In de ondergrond komt overal < 1% organische stof voor (fig. 58). In de B2-horizont ca. 2%, in de bovengrond van de humuspodzolen 5 tot 10%. De hoogste gehalten worden aangetroffen in de bovengrond van de gleygronden: 15 tot 22½%.

Het C/N-quotiënt van de A1g van de gleygronden is met 15 tot 17 relatief laag, in de A1p van de podzolen wat hoger: 16 tot 21. De heterogene horizont en de B2-horizont van de podzolen hebben C/N-quotiënten tussen 23 en 44, de hoogste in het dwarsprofiel.

Fig. 57. Dwarsprofiel Schanenbroek, ijzergehalte; zie ook fig. 46. / Schanenbroek cross section, iron content; see also fig. 46.

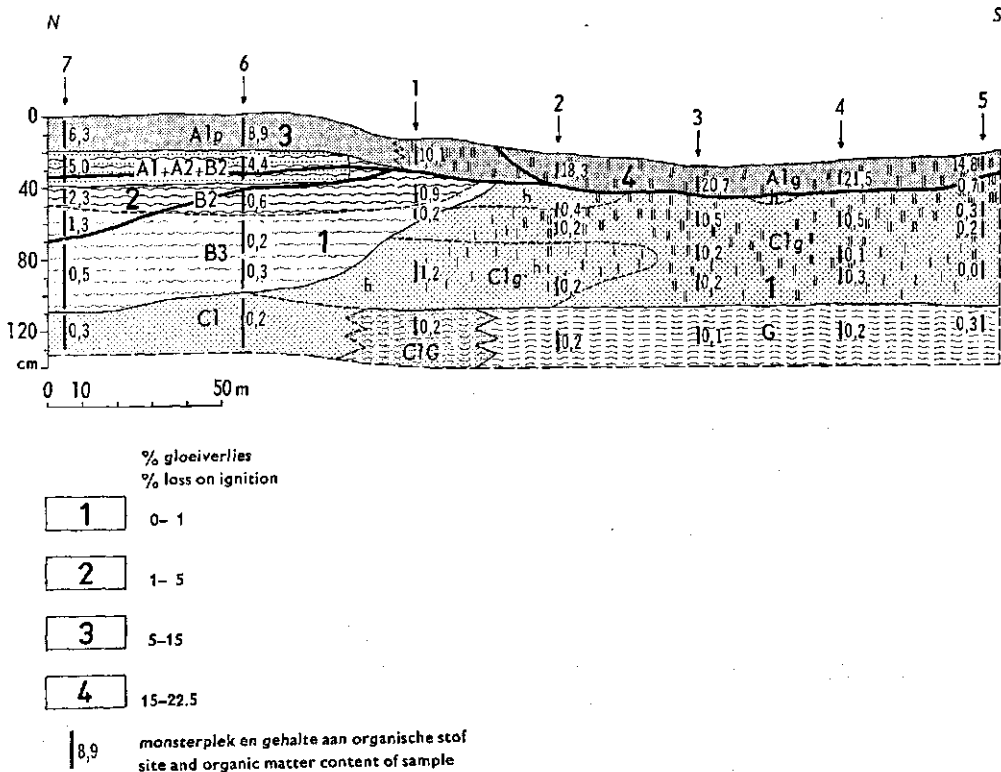


In de bovengrond van de humuspodzolen heeft een sterke afbraak van mineralen plaatsgevonden. Dit blijkt vooral uit het lage gehalte ( $< 1,0 \cdot 10^{-2}\%$ ) aan zware mineralen in de fractie  $150-210 \mu\text{m}$  (fig. 47). De ondergrond van de gleygronden heeft een veel hoger gehalte: ca.  $30 \cdot 10^{-2}\%$ . De verwerking blijkt in het bijzonder uit het verloop van het gehalte aan pyroxenen, nl.  $0,1 \cdot 10^{-2}\%$  in de bovengrond van de humuspodzolen tegenover ca.  $5 \cdot 10^{-2}\%$  in de ondergrond van de gleygronden (fig. 48).

Vergelijken we al deze analysegegevens met hetgeen macromorfologisch werd waargenomen (fig. 46), dan blijkt dat in de humuspodzolen de aanwezigheid van een humus B-horizont samengaat met een lage pH, een laag ijzergehalte, een hoog C/N-quotiënt en een sterke verwerking van de zware mineralen. In de gleygronden ontbreekt juist een humus B-horizont, het profiel is roestig, pH en ijzergehalte zijn hoger, het C/N-quotiënt is lager, de afbraak van zware mineralen is minder sterk.

Voor de kuilen 7 en 6 zijn representatief voor de humuspodzolen. In kuil 1 is weliswaar nog een duidelijke B-horizont aanwezig, maar er komen ook sporen roest in voor, die het begin van de zijdelingse overgang naar de gleygronden aangeven. De kuilen 5, 4 en 3 zijn karakteristiek voor de gleygronden. In sommige opzichten is het profiel van kuil nr. 2 al minder typerend, de overgang naar de humuspodzolen blijkt uit de zwakke 'verbruining' d.i. de humusinspoeling.

Fig. 58. Dwarsprofiel Schanenbroek, organische stof; zie ook fig. 46. / Schanenbroek cross section, organic matter; see also fig. 46.



Het onderzoek Schanenbroek toont op fraaie wijze het verband tussen de morfologie van de gronden en hun overige eigenschappen. In de humuspodzolen gaat bijv. de aanwezigheid van een humuspodzol-B samen met een sterke degradatie; de gleygronden, die geen humuspodzol-B bezitten, zijn minder ver gedegradeerd.

In figuur 43 is een dwarsprofiel uit het proefgebied Vloedgraven weergegeven. Dit profiel werd in hoofdzaak samengesteld met behulp van boringen, die tot ongeveer 3 m diepte reikten, voor zover althans het grondwater dit toeliet. Het omvat delen van de zuidelijke en noordelijke ruggen en het tussengelegen dal, de totale lengte bedraagt ongeveer 75 m, het maximale hoogteverschil 120 cm. Het reliëf is dus veel geprononceerder dan dat van het Schanenbroek. Bovendien komt er in het profiel Vloedgraven, in tegenstelling tot dat van Schanenbroek, veel ijzeroer voor.

Het ligt voor de hand, dat reliëf en ijzergehalte met elkaar samenhangen. Het vrij sterke reliëf in de Vloedgraven maakt een omvangrijke grondwaterstroming en daardoor een grote aanvoer van ijzer naar de gleygronden mogelijk. De grootste ijzeraccumulaties worden inderdaad in de smallere beekdalen aangetroffen.

In het profiel Vloedgraven is fluviatile sedimentatie van ijzer uitgesloten. Het dwarsprofiel ligt nl. op ca. 120 m afstand van het begin van het beekdal.

De ontkalkingsgrens ligt het hoogst ter plaatse van de ijzeraccumulaties, hetgeen als

een aanwijzing wordt beschouwd voor een overeenkomstige genese, nl. een afzetting, c.q. verminderde uitspoeling onder invloed van een opwaartse of minder sterk neerwaarts gerichte grondwaterbeweging (par. 8.3).

### 11.3 Schematische bodemkundige geschiedenis van de gleygronden

In de dekzandgebieden heeft de bodemvorming hoofdzakelijk geleid tot het ontstaan van twee sterk verschillende gronden, namelijk gleygronden en humuspodzolen. De omstandigheden, nl. moedermateriaal, reliëf, klimaat en tijd kwamen echter vrijwel overeen. In de nu volgende schets van de bodemkundige geschiedenis van de gleygronden wordt getracht de oorzaken van het verschil in bodemvorming te verklaren.

Aangenomen wordt, dat de geogenese bij de overgang van het Pleistoceen naar het Holoceen voltooid was, al werden tijdens het Holoceen nog kleine hoeveelheden lutum afgezet en organische stoffen gevormd. Voorts wordt verondersteld, dat de bodemvorming eerst tijdens het Holoceen een aanvang nam, hoewel het duidelijk is, dat dit proces op sommige plekken reeds tijdens het Laatglaciaal, bijv. in de Allerød-tijd begon.

Eerst geraakte het gehele dekzandgebied begroeid. Dit betekent, dat er organische stoffen werden geproduceerd en vervolgens omgezet, waarmee intensieve biologische processen een aanvang namen. Dit leidde weer tot aantasting, afbraak en/of mobilisatie van diverse bodemcomponenten, die voordien stabiel waren. In het beginstadium van de bodemvorming waren het vooral de vrije carbonaten en de adsorptief gebonden kationen, die werden gemobiliseerd.

Een blijvende verandering in de bodem vereist afvoer van gemobiliseerde stoffen, bijv. door overstromingswater of door grondwater. Hierin ligt de voornaamste oorzaak van de grote verschillen in bodemvorming tussen gleygronden en humuspodzolen. In de podzolen werden de gemobiliseerde stoffen afgevoerd door het grondwater; in de gleygronden werd deze afvoer belemmerd door stagnerend grondwater, in sommige gevallen werden zelfs stoffen van elders aangevoerd. Vooral hierdoor verarmden de podzolen geleidelijk zeer sterk terwijl de gleygronden in sommige opzichten zelfs verrijkt werden.

De vegetatie paste zich aan bij de scheiding in relatief arme en relatief rijke gronden. Op de gronden, die thans als humuspodzolen bekend zijn, ontwikkelde zich geleidelijk een oligotrofe vegetatie, op de rijkere gleygronden een meer eutrofe vegetatie, met als typische component de els. Dit verschil in vegetatie deed het verschil tussen de gronden toenemen. Zo bevorderde de els, door stikstoffixatie en in het algemeen door de productie van strooisel met goede eigenschappen, de instandhouding van de redelijk goede eigenschappen van de gleygronden. Bij de humuspodzolen daarentegen oefende de vegetatie (eik, berk, heide) een bepaald ongunstige invloed uit.

De degradatie van de humuspodzolen nam ten slotte extreme vormen aan. Alle carbonaten werden afgevoerd, evenals vrijwel alle kationen. In vele gronden spoelde ook het ijzer, soms vrijwel geheel, uit. Tegelijkertijd vond een sterke afbraak van lichte en zware mineralen plaats, waarbij de vrijkomende componenten eveneens verdwenen.

Het sluitstuk van de bodemvorming in deze gronden was de mobilisatie van een deel van de organische stof, die als disperse humus in de B-horizont neersloeg.

Bij de gleygronden werden weliswaar vrijwel alle carbonaten en een deel van de kationen afgevoerd, maar sterke verwerking van zware mineralen, mobilisatie van organische stoffen en uitspoeling van ijzer zoals in de humuspodzolen, kwam niet of nauwelijks voor. Soms zelfs werden stoffen van elders aangevoerd, waaruit behalve ijzeroer, sideriet, vivianiet en moeraskalk, waarschijnlijk ook lutum ontstond. Dit alles heeft tot gevolg gehad, dat de gleygronden thans overwegend tot de mesotrofe gronden kunnen worden gerekend.

## Samenvatting

De in deze studie behandelde gleygronden zijn gevormd in dekzand en bestaan gewoonlijk uit een roestige, humeuze bovengrond, die rust op een roestige, humusarme ondergrond. Zij werden vroeger beekafzettingen, beekbezinkingsgronden en elzengronden genoemd. Thans worden de meeste als Zwarte Beekeerdgronden geclassificeerd.

Gleygronden beslaan ongeveer 8 % van Nederland en tot 25 % van de dekzandgebieden. Zij komen voor in smalle beekdalen of in bredere vlakke laagten, die enkele decimeters tot ten hoogste enkele meters lager liggen dan de humuspodzolgronden in de naaste omgeving. Het verspreidingspatroon hangt nauw samen met het natuurlijke afwateringssysteem.

De gleygronden hebben overwegend grondwatertrap III, d.w.z. dat de gemiddelde hoogste grondwaterstand tussen 0 en 40 cm en de gemiddelde laagste grondwaterstand tussen 80 en 120 cm – mv. ligt. De standen zijn tijdens het groeiseizoen soms te hoog voor een goede exploitatie van het grasland. Er zijn plannen in uitvoering om de waterhuishouding in Salland te verbeteren.

De grondwaterstanden in de humuspodzolgronden zijn meestal hoger (gemeten t.o.v. NAP) dan in de gleygronden. Blijkens een onderzoek met behulp van piëzometers hangt dit samen met een vertraagde neerwaartse grondwaterstroming in de humuspodzolgronden en met een enigermate ontbreken van verticale bewegingen van het grondwater in de gleygronden. Dit is één van de redenen dat in humuspodzolgronden podzolering kon optreden en dat daarentegen in gleygronden de uitspoeling van diverse stoffen beperkt is gebleven. In sommige gevallen vond zelfs verrijking, bijv. in de vorm van ijzeroer en moeraskalk, plaats.

Door de hoge grondwaterstanden en het betrekkelijk goede vochthoudende vermogen, kan grasland op de gleygronden een langdurige droogte tamelijk goed verdragen.

De ondergrond van de gleygronden in Salland bestaat uit dikke lagen fluviatiele zanden en gronden uit de Würm- en Ristijd. Vanaf 1 à 2 meter diepte tot aan het maaiveld komen dekzanden voor, die grotendeels door uitwaaiing uit de onderliggende fluviatiele zanden zijn ontstaan. Het zand behoort voornamelijk tot het Oude dekzand; Jong dekzand vindt men niet of weinig in de gleygronden.

De natuurlijke vegetatie tijdens het Holoceen op de gleygronden wordt sterk bepaald door de elen. De goede eigenschappen van het elzenstrooisel hebben belangrijk bijgedragen tot het gunstige karakter van de thans aanwezige organische stof in de gleygronden. Het bodemgebruik is nu vrijwel uitsluitend grasland. De beweiding is er waarschijnlijk de voornaamste oorzaak van dat de in dit geval tamelijk instabiele humusvormen mull en moder, plaats hebben moeten maken voor Anmoor.

Uitgaande van oorspronkelijk kalkrijk dekzand, waren kalkgehalte, pH en basenverzadiging aanvankelijk tamelijk hoog. Er worden thans, als gevolg van uitspoeling, vrij lage waarden gevonden, die evenwel toch nog hoger zijn dan die in de humuspodzolgronden. Bemesting, vooral bekalking, heeft weer tot enige verhoging geleid.

In de gleygronden en in de humuspodzolgronden heeft verwerking van zware mineralen plaatsgehad. Deze verwerking is in de gleygronden vrijwel nihil in de ondergrond en matig in de bovengrond; in de humuspodzolgronden matig in de ondergrond en sterk in de bovengrond. De lutumfractie in de gleygronden bestaat gedeeltelijk uit ijzer- en voor de rest uit kleimineralen. De laatste zijn, behalve van fluviatiele en coluviale oorsprong, vrij zeker gedeeltelijk van plaatselijke nieuwvorming afkomstig.

De gleyverschijnselen in gleygronden hangen samen met het gedrag van ijzerverbindingen. De roest staat in verband met driewaardige verbindingen, waarvan in de regel 0,2 tot 0,5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oplosbaar in 10% HCl voorkomt. De grijze kleuren, waarvan meestal ten onrechte wordt aangenomen dat ze de aanwezigheid van ferroverbindingen aangeven, zijn vrij zeker vooral de eigen kleuren van de kwartskorrels, die zichtbaar worden door het ontbreken van driewaardige verbindingen.

Het ontstaan van gleyverschijnselen wordt gesplitst in mobilisatie, transport en neerslag van ijzerverbindingen. De mobilisatie wordt vooral door organische stoffen en een slechte zuurstofvoorziening, bijv. als gevolg van hoge grondwaterstanden, veroorzaakt. De aard van de waterbeweging, zowel de diepe grondwaterstroming van de humuspodzolgronden naar de gleygronden als bijv. de op plantewortels gerichte stroming, is bepalend voor het transport. De neerslag der ijzerverbindingen staat waarschijnlijk, behalve met een toegenomen aëratie, in verband met de aanwezigheid van kleimineralen en van eerder gevormde sesquioxyden. De meting van de redox-potentiaal, bijv. in en onder de humeuze bovengrond, in structuurelementen en bij wortels, is belangrijk voor het verklaren van het ontstaan van gleyverschijnselen.

Het ontstaan van ijzerconcentraties in de bodem, bijv. in de vorm van ijzeroer, vivianiet en sideriet, wordt o.a. verklaard uit de aanvoer van ijzerverbindingen door het diepe grondwater. Langs de kleine rivieren is veel ijzeroer afkomstig van overstromingswater.

Een deel van de gleyverschijnselen in Salland, waaronder veel roest in en dicht onder de humeuze bovengrond, is waarschijnlijk fossiel. Deze zijn ontstaan bij hogere grondwaterstanden. De reductieverschijnselen passen zich snel aan bij gewijzigde hydrologische omstandigheden en zijn daarom overwegend actueel.

Het in de Duitse bodemkunde ontwikkelde begrip pseudogley is nauwelijks van toepassing op de gleygronden in Salland. Het wordt betwijfeld of de opvatting over de hydrologische voorwaarde voor het ontstaan van pseudogley, nl. de aanwezigheid van een tijdelijke grondwaterspiegel, voldoende gefundeerd is. Waarschijnlijk gaat het hier om gronden die in een zeker stadium van degradatie verkeren.

Uit een vergelijking van de bodemvorming in gleygronden met die in humuspodzolgronden volgt, dat de grondwaterbeweging de primaire oorzaak is van de huidige verschillen tussen beide gronden. Samenhangend hiermee is een verschil in de aard van de vegetatie opgetreden, dat ook heeft bijgedragen tot de bodemkundige verschillen.

## Summary

### Coversand gley soils in Salland, the Netherlands

This study deals with coversand gley soils in Salland, Province of Overijssel, the Netherlands. The soils are low-lying, humose, non-calcareous, sandy, superficially gleyed and widely distributed in the coversand areas.

Gley is an Ukrainian word, introduced in soil science by Vissotskij. Obviously the word has the same root as English clay, Dutch klei, German Klei, Polish glej and similar words in other Indo-European languages, all originally meaning sticky, muddy or slippery. Some soil scientists relate gley only to the gray ('reduced') colours in soils; usually, however, gley or gley phenomena are defined as both gray and brown colours in soils resulting from the behaviour of iron compounds under the influence of groundwater.

*Soil profile* The typical gley soils in Salland, known as Black Beek earth soils<sup>1</sup>, can be described as follows<sup>2</sup>:

- Alg 0–20 cm black 10YR 2/1; humose; non-calcareous; slightly to very loamy, very fine to moderately fine sand; iron mottles; abrupt boundary.
- Clg 20–100 cm light-brown-gray 10YR 6/2; extremely poor in humus; non-calcareous; 20–60 cm slightly to very loamy, 60–100 cm slightly loamy; moderately fine sand; iron mottles; gradual boundary.
- G > 100 cm gray 5Y 6/1–4/1; extremely poor in humus; slightly loamy, moderately fine sand; no iron mottles; at 200 cm depth consistently slightly calcareous.

Other coversand gley soils in Salland differ principally from the Black Beek earth soils in the following ways.

Brown Beek earth soils have a less humose, very dark-gray-brown Alg horizon.

Goor earth soils<sup>3</sup> lack superficial iron mottles.

Broek earth soils<sup>4</sup> have a peaty topsoil.

Leek earth soils<sup>5</sup> have an extremely loamy topsoil.

Vlak vague soils<sup>6,7</sup> have a slightly humose or a very thin Alg.

Polder vague soils have a slightly humose or a very thin Alg and 8–15% clay in the horizons down to 40–60 cm.

All of these soils may have rodoorn characteristics (many iron mottles, iron concretions or reddish-brown colours, due to high iron contents, (5–50% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> soluble in 10% HCl). They are therefore classified as phases called rodoorn soils.



*Classification* Originally the gley soils were mapped geologically as brook deposits. Later they were pedologically classified as alder soils because of the supposed strong influence of the alder on soil formation. In later years the soils were classified as gley soils because gley phenomena clearly distinguished the soils from adjoining humus-podzol soils. Many other soils, e.g. low-lying fluvial clay and marine clay soils however have gley phenomena as well, therefore the gley soils are now classified as above (de Bakker & Schelling, 1966).

Several mapping legends have been derived from this classification scheme, extended on such details as texture. Mapping unit pZg23 (slightly to very loamy, moderately to very fine sandy Beek earth soils) is dominant.

In the US classification system gley soils with thin surface soils are Mollic Psammaquents; gley soils with 25–40 cm thick surface soils are Typic Haplaquolls; Broek earth soils with a peaty surface soil are Histic Humaquepts.

In the West German classification most gley soils of Salland belong to the Typischer Gley.

*Landscape* The gley soils cover about 8% of the Netherlands and up to 25% of the coversand areas. They occur mainly in the eastern and southern parts of the country.

Salland, except the push moraines, consists of a plain with a general slope north-north-westwards of about 50 cm per km. Microrelief is strongly developed; the landscape has a distinct pattern of ridges, plains and valleys differing in height a few decimetres to a few metres within 10 to 100 metres.

The gley soils occupy small valleys and other low-lying areas. Their general distribution pattern corresponds to the natural drainage system. In more detail the soils occur in narrow valleys almost without other soils or in wide plains with slightly higher-lying humuspodzol soils scattered among them or in similar plains without these mounds.

*Hydrology* Originally the brooks draining Salland ran westwards to join the River Yssel. In mediaeval times the river built up levees, preventing the natural drainage. To discharge the dammed-up water four canals (weteringen) were dug northwards parallel to the river in the adjoining backswamp clay areas. In the last decades, however, serious waterlogging and flooding increased and large improvements are being carried out.

In order to give supplementary information on soil maps about the behaviour of the

1. Beek = rivulet, brook, beck.
2. Classification from de Bakker & Schelling (1966).
3. Goor = low-lying swampy area.
4. Broek = swamp forest.
5. Leek = natural water course.
6. Vlak = sand plate.
7. Vaag = vague, here in the sense of being unassignable by clear horizons; opposite is Eerd = earth.

watertable, the Netherlands Soil Survey Institute developed a system of classifying and mapping them. The system has seven watertable classes. The watertable class of a particular soil can be estimated fairly well mainly from gley phenomena. Most coversand gley soils have watertable class III, which means a mean highest watertable between 0 and 40 cm and a mean lowest watertable between 80 and 120 cm.

Both land surface and watertable in Salland slope north-north-westwards by about 50 cm per km. The watertable is similar, but less pronounced in microrelief to the land surface. In the coversand ridges the watertable lies at most 40 cm above that in adjoining brook valleys. Piezometer observations indicate that groundwater moves slowly down in the humuspodzols of the ridges and stagnates to some extent in the gley soils of the brook valleys. This enables a pronounced leaching of the humuspodzols. In the gley soils, leaching is less distinct and sometimes an upward flow of groundwater even results in an accumulation of iron ore and other compounds in the soils.

The grasslands on gley soils do not suffer seriously from drought even during pronounced dry periods, due to high watertables and a favourable content of available moisture.

**Geology** From 1 or 2 metres to about 50 metres depth Salland has fluviatile sands and gravels of Riss and Würm age. At several sites peaty and clayey sediments dating from the Eem interglacial are interbedded at about 10 m depth. The top 1 or 2 metres of the gley soil profile consists of aeolian sands (coversands) deposited during the last stages of the Würm glacial. In many gley soils Loamy older coversands occur at or near the surface. The sands are deposited during Upper Pleniglacial, Bølling or perhaps Older Dryas time. Younger coversands are rare in the gley soils, for the Usselo soil or Allerød peat are hardly ever found in the soils.

**Organic matter** The Pleistocene vegetation on the gley soils must have been rather carce. Samples from Pleistocene soils supposed to be gley soils, have a small proportion of tree pollen, mainly *Salix* and *Betula*. In the non-arboreal pollen Cyperaceae are strongly represented. The Holocene vegetation of the gley soils was characterized by *Alnus*, in some samples 40 to 70% of the tree pollen, unlike humuspodzol soils which have a very small proportion of *Alnus* pollen. In recent centuries the natural forests on gley soils have been cut, but along ditches *Alnus* and to a lesser extent also *Salix* and *Populus* are still present.

The gley soils are almost exclusively used for grassland. There is usually 5–10% organic matter in the surface soil. The colour value (Munsell) depends mainly on content of organic matter but the clay content has some influence too.

The carbon-nitrogen ratio of organic matter in gley soils is between 11 and 16, which is considerably lower than in other sandy soils in Salland. Most likely this low ratio is due mainly to the low c/n ratio of 17 in fresh organic matter from alder.

Micromorphologically, forested gley soils have mull and moder, which are here rather unstable. Under grassland there is some deterioration through trampling by cattle and anmoor prevails. Fresh organic matter seems to decompose rapidly.

*Carbonates, pH and base saturation* The coversands are considered to be mainly reworked fluvial sands, originally calcareous with a high pH and a high base saturation.

The gley soils are now non-calcareous, the decalcification boundary lies between 120 and 200 cm, which is shallower than in humuspodzol soils. In rodoorn soils this boundary is rather shallow, sometimes just beneath the iron horizon. If so lake marl or bog lime may occur.

Small patches of bog lime occur in a few places in Salland. The bog lime contains up to 80% carbonate, mainly  $\text{CaCO}_3$ . Although it has been dated palynologically as Late Glacial, a Holocene genesis is likely. The carbonates must have precipitated from rising groundwater in Pleistocene sediments during Holocene times.

The pH in gley soils dropped from about 7 to 4 by soil formation and increased to about 5 in recent years by liming. The pH of gley soils does not now change with depth but in other sandy soils in Salland it decreases. Subsoil manuring would therefore be useful in these other soils.

Base saturation and pH behave on a similar way. Though values for carbonate, pH and base saturation indicate considerable leaching of the gley soils, morphological features typical of humuspodzol soils are lacking.

*Mineralogy* The fluvial sands in the lower horizons of the gley soils are classified as poor because they contain over 15% easily weatherable minerals in the 50–100  $\mu\text{m}$  separates. These minerals give the sands a variegated appearance, even to the naked eye. The grains are angular.

Coversands are described as very poor because they have less than 15% easily weatherable minerals. They are less variegated and the grains are rounded.

The mineralogical composition of the 150–210  $\mu\text{m}$  separates indicates that weathering of heavy minerals was strongest in the upper horizons of the humuspodzol soils. Weathering was moderate in the lower horizons of the podzols and in the upper horizons of the gley soils. The subsoil of the gley soils contained as much heavy minerals as is normal in unweathered coversands of the central part of the country.

The clay separates of some soil samples from Salland consist largely of lepidocrocite if anaerobic and of limonite if chiefly aerobic. Some other samples contained soil chlorite and expanding soil chlorite.

The clay content of gley soils is higher than in other soils developed in coversand. This can be explained partly by fluvial or colluvial sedimentation. Obviously there is also some autogenesis or neogenesis. Sesquioxides supplied by groundwater from elsewhere are adsorbed on the residues of partly weathered primary minerals or on other minerals, resulting in the formation of new clay minerals.

*Gley* Gley is expressed as yellowish-brown and gray mottles and horizons. The brownish mottles occur in the periodically aerated zone of the profile down to about 100 cm. Maximum mottling often lies just below the Alg horizon. 'Rust pipes', brownish iron compounds concentrated around living or decayed roots, are often

distinct in the Clg horizon. The grayish flecks increase downwards in number and distinctness to become dominant at about 100 cm, i.e. the zone of permanent saturation with groundwater.

The iron-clay ratio in soils without leaching or accumulation of iron is usually about 1:10. Some gley soils have slightly less iron, obviously because of leaching. Many gley soils have normal iron content, 0.2–0.5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  soluble in 10% HCl. Others, like rodoorn soils, contain much more, up to 50%; this indicates strong iron accumulation. Brown colours in soils (if not caused by humus) are often associated with ferric compounds. The gray colours are not usually related to ferrous iron but they are simply the colours of the clean quartz grains. Only bluish-gray and greenish colours are likely to be associated with appreciable amounts of ferrous iron.

With anaerobry and organic matter, iron will be mobilized as ferrous iron, e.g. in chelates. Transport may take place by deep groundwater from humuspodzol soils towards the gley soils or in several directions in the unsaturated zone of the soil, e.g. towards roots. After renewed aeration precipitation followed by accumulation takes place. The measurement of the redox-potentials, e.g. in and beneath the humose top-soil, near roots or in soil aggregates, may throw more light on the various parts of the gleying process.

Model experiments on reduction and oxidation support the scheme just described. An estimate suggests that iron ore deposits in gley soils could arise within 3000 years, i.e. in a third of the time available during the Holocene. Another estimate shows that about as much iron could be leached from the humuspodzols as was accumulated in the gley soils of the same area.

Iron ore occurs frequently along the small rivers in the eastern parts of the Netherlands. It originates from oligotrophic peat and sand regions upstream. In the past much iron ore was excavated. Its formation took place in different periods of the Holocene. They may be very young: some date from since 1400.

The regional distribution of iron ore in the Netherlands can be explained perhaps by the relatively coarse and permeable substrata, its high content of iron minerals and the peaty Eem sediments in Salland. This combination is lacking elsewhere in the country.

Vivianite,  $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ , has been found below peat and iron ore, and is rare in gley soils. It is suggested that phosphates, derived from weathered apatite, are transported by groundwater towards the gley soils, where they accumulate.

Siderite,  $\text{FeCO}_3$ , has been found on a few places in Salland, often below iron ore. Most probably it is formed from iron and carbonates transported by groundwater and precipitating in anaerobic conditions and by decreasing carbon dioxide pressure. Like vivianite, siderite is unstable in aerobic conditions and decomposes into ferric compounds. Perhaps much iron ore has been formed from siderite.

Acid sulphate soils are known as catclay, catsand and catpeat in various parts of the Netherlands. They have not yet been observed in Salland. The groundwater at these sites contains sulphates, possibly originating from Miocene marine clays or from Holocene flooding with sea water. The sulphates become reduced to pyrites under influence of organic matter. After aeration as by deep ploughing, pyrite oxidizes and

turns into ferric oxides and sulphuric acid.

Much contemporary gleying is not related to the present watertable but is considered to be fossil. Several observations suggest that this applies especially to the mottles just below the Alg horizon of the gley soils; it may indicate an earlier higher watertable. As the grayish colours seem to change rapidly with changes in watertable, the estimates of the watertable classes are based mainly on the grayish spots.

The term pseudogley introduced by German soil scientists does not apply much in Salland. Pseudogley is associated with temporary watertables on less permeable layers in soils, but such layers do not occur in the gley soils. It is suggested that pseudogley is not so much related to an aberrant behaviour of the watertable and indicates distinct degradation of the soils.

*Soil formation, a comparison* The width of the lateral transitions between gley soils and humuspodzols varies from a few metres to some tens of metres. Although parent material, time and other conditions are very similar, the soils are morphologically different. The pedological history of the gley soils stresses the influence of the differences in groundwater movement between humuspodzols and gley soils, the first showing leaching of many elements, the second a partial retention. In the next stage, alder contributed considerably to the formation of organic matter of good quality and preservation of the gley soils.

## Literatuur

- |  |      |  |
|--|------|--|
| Akker, A. M. van den,<br>M. Knibbe &<br>G. C. Maarleveld | 1964 | Het Sallandse dekzandlandschap. Tijdschr. K. ned. aard-<br>rijksk. Genoot. 81 (3) 287-96.  |
| Anderson, W. F.  | 1962 | IJzeroer. Grondboor en Hamer 5:56-63.  |
| Armstrong, W.  | 1967 | The relation between oxidation-reduction potentials and<br>oxygen diffusion levels in some waterlogged organic soils. J.<br>Soil Sci. 18:27-34.  |
| Bakker, H. de &<br>A. W. Edelman-Vlam                    | 1965 | Zwarte beekkerdgrond in kalkloos dekzand. Tijdschr. ned.<br>Heidemaatsch. 76:271-6.  |
| Bakker, H. de &<br>J. Schelling                          | 1966 | Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere<br>niveaus. Wageningen.   |
| Baren, J. van  | 1927 | De bodem van Nederland. Dl. 2: Het kwartaal. Amsterdam.  |
| Barshad, I.  | 1959 | Factors affecting clay formation. 6th Int. Congr. on Clays<br>and Clay Minerals, 110-132.  |
| Barshad, I.  | 1964 | Formation of clay minerals. In: F. E. Bear, Chemistry of the<br>soil. New York. 43-45.   |
| Becking, J. H.   | 1967 | Stikstofbinding, een biologisch proces van grote economi-<br>sche betekenis. Nat. Techniek, 35:289-99.   |
| Bemmelen, J. M. van                                      | 1863 | Bouwstoffen tot de kennis van de kleigronden der provincie<br>Groningen. In: Scheikundige Verhandelingen en Onderzoe-<br>kingen, uitgegeven door G. J. Mulder, Dl. 3, 2e stuk. Rotter-<br>dam. |
| Bemmelen, J. M. van                                      | 1900 | Über das Vorkommen, die Zusammensetzung und die Bil-<br>dung von Eisenanhäufungen in und unter Mooren. Z. anorg.<br>Chem. 22:313-79.   |
| Bennema, J. & L. J. Pons                                 | 1957 | The pleistocene deposits. In: The excavation at Velsen. Verh.<br>K. ned. geol.-mijnb. Genoot., geol. serie 17 (2) 100-16.  |
| Bloomfield, C.   | 1951 | Experiments on the mechanism of gley formation. J. Soil sci.<br>2:196-212.   |
| Bloomfield, C.   | 1963 | Mobilisation phenomena in soils. Annual Rep. Rothamsted<br>exp. Stn 1963:226-39.   |
| Buitenhuis, A.,<br>H. C. van Heesen &<br>B. J. Bles      | 1962 | De bodemgesteldheid van het ruilverkavelingsgebied Lutten-<br>berg. Rapp. Stichting Bodemkartering 548.*   |
| Burck, H. D. M.  | 1949 | Continentele Eemlagen in het dal van den Gelderschen IJssel;<br>benevens opmerkingen betreffende het IJssellaagterras. Verh.<br>ned. geol.-mijnb. Genoot., geol. serie 15 (1) 32-43.           |
| Buringh, P.  | 1948 | Bodemkartering in een der oudste Dollardpolders. Boor<br>Spade 1:189-94.   |
| Chirkova, R. A.  | 1960 | Nutrient regime in soils of rice fields of the Kzyl-Ordin re-<br>gion. Izv. Akad. Nauk Kazakh. SSR, bot. series 3:42-53(ref.).   |

- Cnossen, J. & W. Heijink 1958 Verslag van een onderzoek naar de invloed van de keileem-ondergrond op en de correlatie van het vegetatieprofiel met de gemeten grondwaterstanden in twee gebieden van het dek-zand-keileemlandschap in de Friese Wouden. Stencil 1826 in: Voorlopige wet. Meded. Stichting Bodemkartering 6.\*
- Commonwealth Bureau of Soils 1961 Bibliography on oxidation-reduction potentials in soils 418, 1960-1946.
- Crommelin, R. D. 1964 A contribution to the sedimentary petrology and provenance of young pleistocene cover sand in the Netherlands. Geologie Mijnb. 43:384-402.
- Crommelin, R. D. 1965 Sediment-petrologie en herkomst van jong-pleistocene dek-zand in Nederland. Boor Spade 14:138-50.
- Crommelin, R. D. 1966 Rapport over het mineralogisch onderzoek van een aantal bodemprofielen uit Utrecht en Gelderland. Stencil Stichting Bodemkartering 3843.\*
- Daniels, R. B., G. H. Simonson & R. L. Handy 1961 Ferrous iron content and color of sediments. Soil Sci. 91: 378-82.
- Deer, W. A., R. A. Howie & J. Zussman 1962 Rock-forming minerals. Vol. 5: Non-silicates. London.
- Demolon, A. 1966 Dynamique du sol. Éd. 5. Paris.
- Diepen, D. van 1956 De gloeimethode als vorm van ijzeronderzoek bij de profiel-studie. Boor Spade 8:160-73.
- Doi, Y. 1952 Studies on the oxidizing power of roots of crop plants. 1. The difference of crop plants and wild grasses. 2. The interrelation between paddy rice and soybean. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 21:12-3, 14-5 (ref.).
- Domhof, J. 1958 Oxydatie-Reductie. Stencil 1721 in: Voorlopige wet. Meded. Stichting Bodemkartering 6.\*
- Domhof, J., J. C. F. M. Haans & M. Knibbe 1965 Het meten van grondwaterstanden in gronden met slecht doorlatende lagen. Boor Spade 14:151-62.
- Edelman, C. H. 1950 Inleiding tot de bodemkunde van Nederland. Amsterdam.
- Edelman, C. H. 1963 Bospodzolen en heidepodzolen. Boor Spade 13:51-60.
- Ehwald, E. 1966 Leitende Gesichtspunkte einer Systematik der Böden der DDR als Grundlage der land- und forstwirtschaftlichen Standortkartierung. In: E. Ehwald, J. Lieberoth & W. Schwanecke, Zur Systematik der Böden der DDR besonders in Hinblick auf die Bodenkartierung. Sber. Deutsche Ak. Landw. Berlin 15 (18): 5-55.
- Emel'yanov, J. J. 1960 Dynamics of oxidation-reduction conditions of old plowed dark chestnut calcareous soils of the Akmolin region. Izv. Akad. Nauk kazakh. SSR, Bot. series 3:32-41 (ref.).
- Ente, P. J., J. C. F. M. Haans & M. Knibbe 1965 De bodem van Overijssel, de Noordoostpolder en Oostelijk Flevoland. Toelichting bij blad 3 van de Bodemkaart van Nederland schaal 1:200.000. Stichting Bodemkartering.
- Flaig, W., K. Scharrer & G. K. Judel 1955a Zur Methodik der Bestimmung des Redoxpotentials im Boden. Z. PflErnähr. Düng. Bodenk. 68:97-122.
- Flaig, W., K. Scharrer & G. K. Judel 1955b Bestimmung des Redoxpotentials von Bodenprofilen. Z. PflErnähr. Düng. Bodenk. 68:203-18.

- |  |      |  |
|--|------|--|
| Florschütz, F.   | 1941 | Laatglaciale afzettingen in midden- en noord-Limburg. Moeraskalk van Gülickshof en klei van de voet van de St. Jansberg. Tijdschr. K. ned. aardrijksk. Genoot. 58 (6) 934-9. |
| Florschütz, F.   | 1957 | The flora of the Eemian and the Tublician. In: The excavation at Velsen. Verh. K. ned. geol.-mijnb. Genoot., geol. serie 17 (2) 119-22.                                      |
| Fockema Andreae, S. J.   | 1950 | Studiën over Waterschapsgeschiedenis. Dl. 2: Salland.  |
| Freeve, J.   | 1958 | De landbouwwaterhuishouding in de provincie Overijssel. Rapport nr. 5, Commissie onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland-TNO.   |
| Gee, J. C. de  | 1950 | Preliminary oxidation potential determinations in a 'sawah' profile near Bogor (Java). 4th Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam 1:300-3.  |
| Geller, I. A.  | 1952 | The effect of crop plants on the oxidation-reduction regime of soil. Pochvovedenie: 920-6 (ref.).  |
| Geologische Stichting  | 1947 | Kleine geologische overzichtskaart van Nederland, schaal 1:600.000.  |
| Goosen, D.   | 1969 | The language of soil. Public lecture, Delft.   |
| Gorbunov, K. V.  | 1958 | The relation between aerobic and anaerobic processes in the water layer and in the ground of a meadow reservoir. Mikrobiologiya 26:210-7 (ref.).                             |
| Haans, J. C. F. M.   | 1960 | Available moisture in soils of the Netherlands. Versl. Meded. Comm. hydrol. Onderz. T.N.O. 5.  |
| Haans, J. C. F. M.   | 1961 | Enkele aspecten van de waterhuishouding van Nederlandse gronden. In: Bodemkunde, 143-56, 's-Gravenhage.  |
| Hammen, T. van der,<br>G. C. Maarleveld,<br>J. C. Vogel &<br>W. H. Zagwijn | 1967 | Stratigraphy, climatic succession and radio carbon dating of the last glacial in the Netherlands. Geologie Mijnb. 46: 79-95.   |
| Hamming, C.,<br>M. Knibbe &<br>G. C. Maarleveld                            | 1965 | Afzettingen van de IJssel nabij Zwolle. Boor Spade 14: 88-102.   |
| Havinga, A. J.   | 1957 | Pollen analysis of fossil vegetation profiles. Verh. K. ned. geol.-mijnb. Genoot., geol. serie 17 (2) 139-45.  |
| Havinga, A. J.   | 1962 | Een palynologisch onderzoek van in dekzand ontwikkelde bodemprofielen. Diss. Wageningen.   |
| Heesen, H. C. van  | 1963 | Het hydrologische onderzoek en de beschrijving van de grondwatertrappenkaart in het ruilverkavelingsgebied Luttenberg. Rapp. Stichting Bodemkartering 548:72-82.*            |
| Heuveln, B. van  | 1958 | Minerale afzettingen in het Smeulveen. Boor Spade 9:38-52.   |
| Heuveln, B. van  | 1965 | De bodem van Drente. Toelichting bij blad 1 van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:200.000. Stichting Bodemkartering, Wageningen.   |
| Hoore, J. d'   | 1953 | De accumulatie van vrije sesquioxiden in tropische gronden. Gent.  |
| Hurk, J. A. van den &<br>G. J. W. Westerveld                               | 1968 | Bodemkundige onderzoekingen naar het voorkomen van zure ondergronden in een gedeelte van het ruilverkavelingsgebied Peizer Made. Rapp. Stichting Bodemkartering 770.*        |
| Jongerijs, A.  | 1957 | Morfologische onderzoekingen over de bodemstructuur. Bodemk. Stud. 2.  |
| Jongerijs, A.  | 1961 | De micromorfologie van de humus. In: Bodemkunde, 43-58, 's-Gravenhage.   |



Kanters, H. L. & M. F. van Oosten	i.v.	Over grondwaterstanden in gronden met slecht doorlatende lagen in Noord-Brabant.
McKeague, J. A.	1965a	Relationship of water table and Eh to properties of three clay soils in the Ottawa Valley. <i>Can. J. Soil Sci.</i> 45:49-62.
McKeague, J. A.	1965b	Properties and genesis of three members of the uplands catena. <i>Can. J. Soil Sci.</i> 45:49-62.
McKenzie, L. J. & E. A. Erikson	1954	The use of redox potentials in studies of soil genesis. <i>Proc. Soil. Sci. Soc. Am.</i> 18:481-5.
Knibbe, M.	1957	Verslag van de bodemkundige verkenning van een deel van het waterschap Salland. <i>Rapp. Stichting Bodemkartering</i> 467.*
Knibbe, M.	1959	Rapport over kleur values en humusgehalten in A-lagen. <i>Stencil Stichting Bodemkartering</i> 2185.*
Knibbe, M. & A. M. van den Akker	1966	Het ijzergehalte van enkele gronden in Overijssel, in het bijzonder van de zogenaamde rodoorns. <i>Boor Spade</i> 15: 110-27.
Knibbe, M. & B. A. Marsman	1958	Bewerking van C/N gegevens uit Overijssel en de Gelderse Achterhoek. <i>Stencil Stichting Bodemkartering</i> 1604.*
Knibbe, M. & B. A. Marsman	1962	Grondwatertrappenindeling in Overijsselse zandgronden. <i>Voorlopige wet. Meded. Stiboka</i> 16.*
Knibbe, M. & J. Schelling	1967	De ijzerverplaatsing naar gleygronden. In: G.G.L. Steur et al., <i>Bodemkartering. Een kwart eeuw onderzoek met boor en spade. Stichting voor Bodemkartering.</i>
Koenigs, F. F. R.	1950	A 'sawah' profile near Bogor (Java). <i>Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam</i> 1:297-300.
Koenigs, F. F. R.	1964	Vochtgehalte bij de bewerking en doorlatendheid van zandgronden. <i>Tijdschr. K. ned. Heidemaatsch.</i> 75:617-27.
Koninklijke Nederlandsche Heide Maatschappij	1957	Rapport betreffende de resultaten van het doorlatendheids-onderzoek in het gebied Salland.
Kraanen, C. J. M.	1961	De bodemgesteldheid van het gebied 'Brummen-Voorst'. <i>Rapp. Stichting Bodemkartering</i> 520.*
Kubiena, W. L.	1953	<i>Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas.</i> Stuttgart.
Leenheer, L. de & M. van Ruymbeke	1966	Oorsprong van het bodemmateriaal en granulometrie van de bouwvoor in Oost Vlaanderen. <i>Meded. Rijksfac. Landb. wetensch. Gent</i> , 31:1-100.
Lüders, R.	1965	Zur Entstehung von Raseneisenstein im Emstal bei Meppen. <i>Geol. Jb.</i> 83:221-34.
Maarleveld, G. C.	1964	Een eenvoudige karakterisering van zanden. <i>Stencil Stichting Bodemkartering</i> 3416.*
Maarleveld, G. C.	1966	A simple method of characterizing sands. <i>Tijdschr. K. ned. aardrijksk. Genoot.</i> 83:272-7.
Marel, H. W. van der	1949	Mineralogical composition of a heath podzol profile. <i>Soil Sci.</i> 67:193-207.
Marel, H. W. van der Marsman, B. A.	1951	Gamma ferric oxide in sediments. <i>J. sedim. Petrol.</i> 21:1-21.
	1964	Gleygrondonderzoek. Voorlopig verslag van de kartering van het proefgebied Hellendoorn. <i>Rapp. Stichting Bodemkartering.</i> *
Marsman, B. A.	1965	Gleygrondonderzoek. Voorlopig verslag van de kartering van het proefgebied Vloedgraven. <i>Rapp. Stichting Bodemkartering.</i> *

Matsuo, H. & A. Kato	1956	Instrument for measuring in situ the oxidation-reduction potentials of paddy soils. Bull. Kyushu agric. Exp. Stn 3: 346-58 (ref.).
Meer, K. van der & J. R. Willet	1964	Bodemkundige aspecten bij diepe grondbewerking. Tijdschr. K. Ned. Heidemaatsch. 75:628-34.
Mückenhausen, E.	1962	Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt a.M.
Mückenhausen, E.	1963	Le pseudogley. Sci. sol 1:21-9.
Novikov, P. M.	1960	Constant-electrode device for the study of the dynamics of oxidation-reduction conditions in soils. Pochvovedenie 5: 113-4.
Nozdrunova, E. M., M. N. Rytikova & A. F. Shemyakina	1956	The question of the dynamics of available forms of the higher sesquioxides and of the oxidation-reduction potential in sod-podzolic soil. Dokl. mosk. sel'.-khoz. Akad. K. A. Timiryazeva 26:122-30 (ref.).
Oades, J. M.	1963	The nature and distribution of iron compounds in soils. Soils Fertil. 26:69-80.
Otto, W. M.	1959	Grondverbetering op lage zandgronden. Versl. Landbouwk. Onderz. 65.2.
Pannekoek, A. J. (Ed.)	1956	Geologische geschiedenis van Nederland; toelichting bij de Geologische kaart van Nederland 1:200000. 's-Gravenhage.
Pape, J. C.	1965	Het onderzoek van podzolgronden. Beknopt Vers. werkzaamheden Stichting Bodemkartering: 38-42.
Poelman, J. N. B.	1968	Verder onderzoek naar het onderkennen en voorkomen van kattezand. Landbouwk. Tijdschr., 's-Grav. 80:95-7.
Ponnamperuma, F. N.	1968	A theoretical study of aqueous carbonate equilibria. Soil Sci. 103:90-100.
Ponnamperuma, F. N., E. M. Tianco & T. Loy	1967	Redox equilibria in flooded soils. 1. The iron hydroxide systems. Soil Sci. 103:374-82.
Pons, L. J.	1954	Het Fluviaitiele laagterras van Rijn en Maas. Boor Spade 7: 97-110.
Pons, L. J.	1957	Welke betekenis heeft de kleur van jonge alluviale gronden. Stencil Stichting Bodemkartering no 1502.*
Pons, L. J.	1959	Fossiele bodemprofielen in het dekzand in de tunnelput van Velsen. Boor Spade 10:170-209.
Pons, L. J., & A. J. Wiggers	1958	De morfologie van het pleistocene oppervlak in Noordholland en het Zuiderzeegebied, voorzover gelegen beneden gemiddeld zeeniveau (N.A.P.). Tijdschr. K. ned. aardrijksk. Genoot. 75: 140-53.
Rees Vellinga, E. van	1965	Het gehalte aan ijzer in het diepe grondwater van het Peelgebied en de naaste omgeving. Meded. Dir. Tuinb. 28: 543-51.
Reinders, G.	1896	Het voorkomen van gekristalliseerd ferrocarbonaat in moerasijzererts. Verh. K. Akad. Wet., 2e sectie 5 (5) 1-40.
Reinders, G.	1902	Mededeling omtrent de verspreiding van het deels poedervormig, deels pijpvormig ijzeroer in de provinciën Groningen en Drenthe. Verh. K. Akad. Wet., 2e sectie 9 (2).
Remezov, N. P.	1962	Humic-gleyed soils of the black alder stands. Pochvovedenie, 10:10-22.
Rijks Geologische Dienst	1931 en 1932	Geologische kaart van Nederland, schaal 1:50.000, blad Zwolle II en IV en Hattem II en IV.

Roeschmann, G.	1960	Die Grundwasserböden des Emstaales zwischen Rheine und Papenburg und ihre Beziehungen zur Geschichte des Emslaufes. Geol. Jrb. 77:741-820.
Roo, H. C. de	1953	De bodemgesteldheid van Noord-Kennemerland. De bodemkartering van Nederland 14. Stichting Bodemkartering.
Roos, H. P. de	1962	C/N-verhouding en hoedanigheid van de organische stof in de grond. Rapp. Inst. Bodemvruchtbaarheid 12.
Roslikova, V. I.	1961	Manganese iron concretions in soils of the Suifenko-Khanka lowland. Pochvovedenie, 4: 82-90.
Schans, R. P. H. P. van der	1957	Het bouwplan op verschillende bodemtypen. Landbouwk. Tijdschr., 's-Grav. 69:251-6.
Schelling, J.	1948	Rapport betreffende de bodemkartering van een gedeelte van de gemeente Nieuwstadt Susteren. Rapp. Stichting Bodemkartering 157b.*
Schelling, J.	1950	Boringen in het moeraskalkgebied bij Nieuwstadt. Rapp. Stichting Bodemkartering.*
Schelling, J.	1953	Rapport betreffende de bodemgesteldheid in het karteringsgebied Dalfsen en Nieuwleusen ten noorden van de Vecht. Rapp. Stichting Bodemkartering 353.*
Schelling, J.	1959	Doel en principe van de moderne bodemclassificatie. Landbouwk. Tijdschr. 71:737-743.
Schelling, J. & B. A. Marsman	i.v.	Een morfologisch-geografische analyse van het patroon van de bodemgesteldheid van gleygronden in een dekzandgebied in verband met het ontstaan.
Scholz-König, E.	1965	Die mikrobiologische Unterschiede von vier Bodentypen, ermittelt nach ihren Populations-dichten und ihren Atmungsaktivitäten. Mitt. dt. Bodenk. Ges. 4:271-80.
Scholz-König, E.	1966	Mikrobiologische Charakterisierung von vier Bodenprofilen auf grund der Populationsdichten. Z. PflErnähr. Düng. Bodenk. 112:122-32.
Schwertmann, U.	1959	Die fraktionierte Extraktion der freien Eisenoxyde in Böden, ihre mineralogischen Formen und ihre Entstehungsweisen. Z. PflErnähr. Düng. Bodenk. 84:194-204.
Sell'-Bekman, I. Y. A., V. A. Rabinovich & O. V. Kurovskaya	1960	Oxidation-reduction potential profile curves in relation to the conditions of soil formation. Pochvovedenie, 6:66-70 (ref.).
Serdobolskii, I. R. & M. G. Sinyagina	1953	Oxidation-reduction conditions of aggregates of chernozem soils. Pochvovedenie 26-32 (ref.).
Sharapov, I. D.	1960	Oxidation-reduction potential in soils of a rice rotation. Izv. Akad. Nauk kazakh. SSR, bot. series 3:20-31 (ref.).
Sluijs, P. van der & G. C. Maarleveld	1963	Dekzandruggen uit de jonge Dryastijd in Zeeuws-Vlaanderen. Boor Spade 13:21-27.
Sluijsmans, C. M. J., G. P. Wind & L. C. Struijs	1961	Bekalking van de ondergrond. Landbouwvoorlichting 18: 624-31.
Slyusarchik, E.	1958	The question of changes in the oxidation-reduction potential of sod-podzolic soils of the Podol' Area of the Moscow region. Dokl. mosk. sel'-khoz. Akad. K. A. Timiryazeva 34: 169-74 (ref.).
Smet, L. A. H. de	1951	Rodoorngronden in het Dollargebied. Boor Spade 4:114-22.
Soil Survey Staff	1951	Soil Survey Manual. Washington.

Soil Survey Staff	1960	Soil classification, a comprehensive system. 7th Approximation. Washington.
	1967	Supplement op voorgaande.
Spek, Jac. van der	1950	Katteklei. Versl. landbouwk. Onderzoekingen 56.2.
Spreekens, B. van	1870	Het Beekbergerwoud, zijne ontbossing en bebouwbaarmaking. Versl. 24ste ned. Landhuishoudk. Congr. (Arnhem) 43-50.
Staring, W. C. H.	1846	De aardkunde van Salland en het Land van Vollenhove.
Staring, W. C. H.	1856	De bodem van Nederland. De zamenstelling en het ontstaan der gronden in Nederland. Dl.1. Haarlem.
Staring, W. C. H.	1888/89	Geologische kaart van Nederland op schaal 1:200.000. 's-Gravenhage.
Steur, G. G. L.	1964	De bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000, in kaartbladen. Landbouwk. Tijdschr. 76:1063-73.
Steur, G. G. L.	1966	De bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Enkele aspecten van de legenda-indeling en de nomenclatuur van de kaarteenheden. Boor Spade 15:43-58.
Stichting voor Bodemkartering	1960	Bodemkaart van Nederland schaal 1:200.000. Wageningen.
Stichting voor Bodemkartering	1964	Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Toelichting bij blad 50 West, Breda.
Stichting voor Bodemkartering	1965a	De Bodem van Nederland. Toelichting bij de bodemkaart van Nederland schaal 1:200.000.
Stichting voor Bodemkartering	1965b	Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000. Toelichting bij blad 32 Oost, Amersfoort.
Stichting voor Bodemkartering	1966a	Legenda voor de bodemkaart van Nederland 1:50.000. Stencil Stichting voor Bodemkartering no 3892*.
Stichting voor Bodemkartering	1966b	Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000, blad 27 West, Harderwijk, en 32 West, Amersfoort.
Stichting voor Bodemkartering	1966c	Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000, blad 27 Oost, Hattem.
Stobe, G.	1958	Determination of the redox potential of soil. Augsne Raža 8: 127-36 (ref.).
Takai, Y., T. Koyama & T. Kamura	1956	Microbiological studies on the reduction process of paddy soils. 6th Int. Congr. Soil Sci. Paris Vol. C:527-31.
Takai, Y., Y. Koyama & T. Kamura	1957	Microbial metabolism of paddy soils. III & IV. Effect of iron and organic matter on the reduction process. 1 & 2. J. agric. Chem. Soc. Japan 31:211-5, 215-20 (ref.).
Tyagny-Ryadno, M. G.	1958	Biophysical and chemical analysis of soil aggregates. Pochvovedenie 12:76-84 (ref.).
Usuki, I.	1955	Earthworms and some environmental factors, especially oxidation-reduction potentials. Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. 4 (21) 13-23 (ref.).
Vilenskii,	1957	Soil science. Moscow.
Vries, J. J. de	i.v.	Relatie tussen het sulfaat- en ijzergehalte in het diepe grondwater van de Gelderse Achterhoek. (Meded. Inst. CultTech. WatHuish.).
Waterleiding-Maatschappij Overijssel	1964	Verslag omtrent de toestand en de werking van de Waterleiding-Maatschappij Overijssel N.V. over het jaar 1963. Zwolle.

- |                                |       |   |
|--------------------------------|-------|---|
| Wee, M. W. ter                 | 1966  | Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Steenwijk Oost (16 O). Geologische Stichting, afd. Geologische Dienst, Haarlem.  |
| Willet, J. R.                  | 1962  | 'Ongerijpte' zandgronden en hun ontwatering. Tijdschr. ned. Heidemaatsch. 73:403-8.   |
| Wind, G. P. &<br>B. M. Steeghs | 1964  | 'Kattezand'. Landbouwk. Tijdschr. 76:150-7.   |
| Wittich, W.                    | 1953  | Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit starker Regenwurmtätigkeit. Schr. Reihe forstl. Fak. Univ. Göttingen. Mitt. niedersächs. forstl. Vers. Anst. 9:5-33.                    |
| Yamasaki, T.                   | 1952  | Studies on the excess-moisture injury of upland crops in overmoist soil from the viewpoint of soil chemistry and plant physiology. Bull. natn. Inst. agric. Sci., Tokyo 1:1-92 (ref.).                          |
| Yu, T. Z. & S. K. Lee          | 1957  | Investigation of the oxidation-reduction processes in rice soils. II. Interaction between soils and plants. Acta pedol. sin. 5:166-74 (ref.).   |
| Yu, T. J. & S. H. Li           | 1956a | Studies on oxidation-reduction processes in paddy soils. I. Conditions affecting redox-potentials. Int. Congr. Soil Sc., vol A. Colloque du riz: 271-2.   |
| Yu, T. J. & S. H. Li           | 1956b | Studies on oxidation-reduction processes in paddy soils. I. Conditions affecting redox-potentials. II. Mutual influences between soil and plants. Soil Sc. Soc. China Rep. Congr. Soil Sc. 14 pp, 10 pp (ref.). |
| Zakosek, H.                    | 1960  | Durchlässigkeitsuntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleye. Abh. hess. Landesamt. Bodenforsch. 32.   |
| Zonneveld, I. S.               | 1957  | Over de kleur van alluviale gronden, voornamelijk onder invloed van ijzerverbindingen. Stencil Stichting Bodemkartering 1503.*  |

\* Rapporten ter inzage bij Bibliotheek Stichting voor Bodemkartering, Wageningen/Reports available at Library Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen.